단상용 태양광발전의 연계에 의한 수용가 전력품질 특성에 관한 연구

김병기, 박오성, 김병목, 노대석
한국기술교육대학교
e-mail:dsrho@kut.ac.kr, bkwin@kut.ac.kr

A Study on the Power Quality Characteristics of Customers by the Operation of Single Phase PV System

Byungki Kim, Ohsung Park, Byungmok Kim, Daeseok Rho
Korea University of Technology and Education

요 약

태양광전원이 연계되어 운용되고 있는 저압배전선로에 Sag, Swell 발생에 따른 태양광전원의 불안정한 운전과 태양광전원의 높은 왜형율의 Harmonic 발생에 따른 배전계통의 보호계전기(OCGR) 동작 등 전력품질에 있어서 문제점이 발생되고 있다. 이러한 문제점은 사회적, 경제적 손실을 초래하게 되어, 전력품질(Sag, Swell, Harmonic, 모터기동)특성해석이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 태양광전원이 연계되어 정상운용 중인 배전계통에 대한 전력품질특성시험을 수행하기 위하여, 모의 배전계통장치와 모의 태양광전원장치, Labview용 감시제어장치로 구성한 태양광전원용 전력품질시험장치를 제작하였다. 이 시험장치를 이용하여 태양광전원 연계 시 Sag, Swell, Harmonic, 모터기동에 대한 시험을 수행하여 태양광전원이 배전계통에 미치는 영향과 특성을 분석하였다.

1. 서 론

우리나라에서는 태양광전원의 도입 시 배전계통에 끼치는 영향과 문제점에 대한 구체적인 분석과 평가 없이, 태양광전원의 배전계통 도입과 운용이 이루어지고 있다. 이러한 이유로 배전계통측에 Sag 또는 Swell 발생시 태양광전원의 계통연계가 단절되는 현상과, 태양광전원측의 Harmonic발생으로 인해 배전계통에 심각한 고조파 왜형으로 인한 OCGR 동작이 나타날 수 있음을 간과하고 있다. 이런 문제들을 고려하지 않을 경우 사회적 경제적 손실을 계속 초래하게 된다.

따라서 본 논문에서는 태양광전원 계통연계 시험장치(배전계통 모의장치)와 태양광전원 모의장치(인버터와 DC전원공급장치), 전력품질분석기와 통합디지털보호기기, 감시제어장치(LabVIEW)로 구성되는 모의시험장치를 제작 하여 다음과 같이 시험하였다. 배전 계통측에 순시적인 Sag, Swell,을 인위적으로 발생시켜 태양광전원측에 미치는 영향과 특성, 모터부하 기동시에 배전계통과 태양광전원과의 영향과 특성을 분석하고, 다른 한편으로는 태양광전원측에서 발생하는 Harmonic을 분석하여 배전계통에 미치는 영향과 특성을 분석하였다.

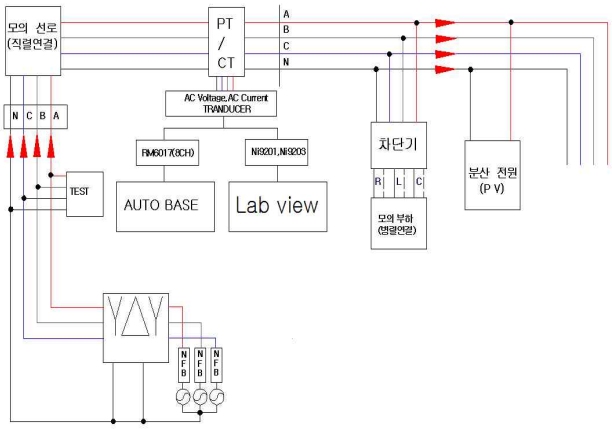
2. 태양광전원이 연계된 배전계통의 문제점 분석

상위 154kV 계통 1선 지락사고 시, 하위 배전계통에 Sag 발생 및 배전계통에 대형 모터기동 시 Sag 발생으로 배전계통과 태양광전원 계통연계가 정지되는 현상이 발생할 수 있다. 또한, △-Y 결선한 배전선로에 1선 지락사고시 건전상 전압이 1.73배 상승하고 Y-△의 경우 1.2배 상승하는 Swell이 발생하여 태양광전원의 계통연계가 정지될 가능성을 가지고 있다. 한편, 대규모 태양광전원 단지의 인버터에 의한 Harmonic 발생으로 배전계통에 심각한 고조파 왜형을 발생시켜, 계통에 설치되어 있는 보호계전기(OCGR)의 오동작 발생 가능성을 가지고 있다. 따라서 현재 태양광전원이 연계된 배전계통의 전력품질에 대한 문제점들이 혼재되어 있어, 이에 대한 기술적인 검토와 대책 마련이 시급한 상황이다.

3. 태양광전원용 전력품질시험장치 제작

그림 1과 같이 태양광전원용 전력품질 시험장치는

배전계통에 태양광전원 연계에 의한 전력품질에 대한 영향과 특성을 분석할 수 있도록 고안한 장치이다.



[그림 1] 태양광전원용 전력품질 시험장치 구성도

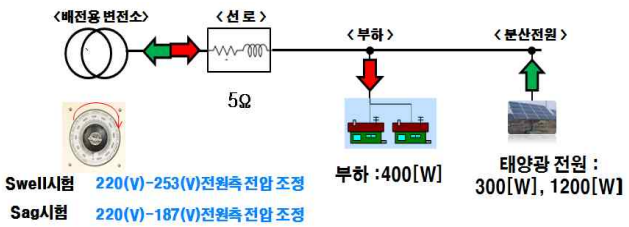
4. 태양광전원의 전력품질 특성시험 및 분석

Sag, Swell, Harmonic, 모터기동에 대한 전력품질 특성시험은, 실 배전계통을 축소 모의한 시험장치를 이용하여 특성 및 결과를 분석하였다.

4.1 순시전압 강하, 순시전압상승 특성시험 및 분석

4.1.1 시험조건

배전계통 측에 순시적인 Sag, Swell 등을 인위적으로 발생시켜 태양광전원 측에 미치는 영향과 특성을 분석하기위해, 그림 2와 같이 시험장치를 구성하여 특성시험을 실시하였다. 모의 배전계통에 태양광전원을 연계하고, 선로임피던스와 모의부하를 조정하고, 모의 배전용변전소에서 슬라이닥스를 수 초 이내에 220V~187V와 220V~253V로 변화시켜 Sag 시험과 Swell시험 등을 수행하였다.



[그림 2] Sag, Swell 시험 개념도

4.1.2 Labview를 이용한 순시전압 강하, 상승 특성시험

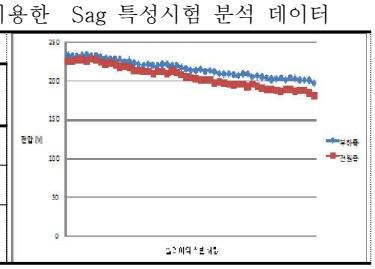
(1) 순시전압강하(Sag) 특성시험

(가) 태양광전원이 300W인 경우

표 1은 전원측 전압을 220V부터 187V까지 슬라이닥스를 수 초 이내에 조정하여 시험한 결과를 나타낸 것이다. Sag 시험에서 부하 400W 선로임피던스 5Ω, 태양광전원 300W연계 시에 부하측 전압이 199V미만에서 태양광전원 모의장치(인버터)가 계통에서 분리되는 현상을 확인할 수 있었다.

[표 1] LabVIEW를 이용한 Sag 특성시험 분석 데이터

태양광 연계시 결과 분석		
전원측 전압	부하측 전류	부하측 전압
207V	0.48A	204.58V
198V	0.50A	195.47V
187V	0.53A	184.32V

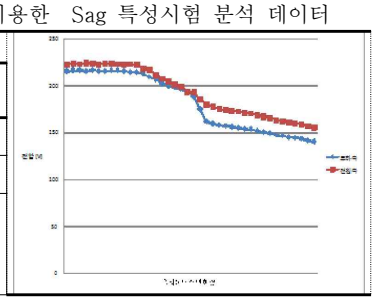


(나) 태양광전원이 1,200W인 경우

표 2는 부하 400W, 선로임피던스 5Ω, 태양광전원 1200W 연계 시에 전원 측 187V(부하측 209V) 미만에서 태양광전원 모의장치(인버터)가 계통에서 분리되는 현상을 확인할 수 있었다. 본 시험에서 태양광전원이 부하보다 클수록 역조류에 의해 부하측(수전단) 전압은 전원측(송전단) 전압보다 커지는 현상인 페란티현상을 확인할 수 있었다.

[표 2] LabVIEW를 이용한 Sag 특성시험 분석 데이터

태양광 연계시 결과 분석		
전원측 전압	부하측 전류	부하측 전압
207V	-3.86A	226.30V
198V	-4.06A	218.30V
187V	-4.27A	208.39V



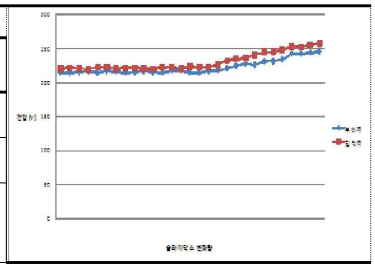
(2) 순시전압상승(Swell) 특성시험

(가) 태양광전원이 300W인 경우

표 3은 전원 측 전압을 220V부터 253V까지 슬라이닥스를 수 초 이내에 조정하여 시험한 결과를 나타낸 것이다. Swell 시험에서 부하 400W, 선로 임피던스5Ω, 태양광전원 300W연계시에 태양광전원 모의장치(인버터)가 계통에서 분리되지 않음을 확인할 수 있었다.

[표 3] LabVIEW를 이용한 Swell 특성시험 분석 데이터

태양광 연계시 결과 분석		
전원측 전압	부하측 전류	부하측 전압
233V	0.43A	230.85V
242V	0.41A	239.93V
250V	0.40A	248.00V

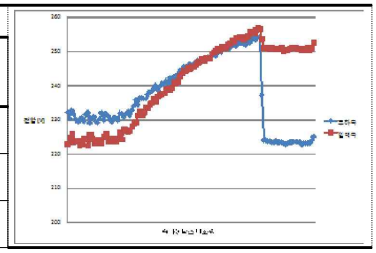


(나) 태양광전원이 1,200W인 경우

표 4는 전원 측 전압을 220V부터 253V까지 슬라이닥스를 수 초 이내에 조정하여 시험한 결과를 나타낸 것이다. Swell 시험에서 부하 400W, 선로 임피던스5Ω, 태양광전원 1200W 연계 시에 전원측 240V(부하 측 255V)에서 태양광전원 모의장치(인버터)가 계통에서 분리되는 현상을 확인할 수 있었다.

[표 4] LabVIEW를 이용한 Swell 특성시험 분석 데이터

태양광 연계시 결과 분석		
전원측 전압	부하측 전류	부하측 전압
233V	-3.43A	250.15V
242V	-3.30A	258.52V
250V	-3.20A	266.00V



(3) 종합 분석

표 5와 같이 Sag 발생시에는 부하(수전단)측의 전압은 태양광전원용량이 클수록 Sag를 보상하는 긍정적인 효과가 있음을 확인하였다. 또한 Swell 발생시 부하(수전단)측의 전압은 태양광 전원용량이 클수록 송전단보다 수전단전압이 더 큰 값으로 상승함을 확인하였다.

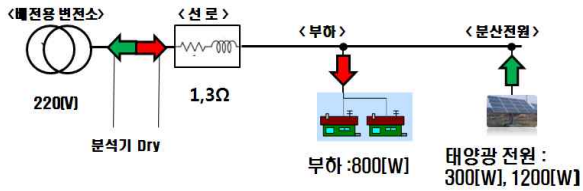
[표 5] Swell, Sag 특성시험 데이타

조 건 / 전력품질	부하 > 태양광 전원		부하 < 태양광 전원	
	전원 측	부하 측	전원 측	부하 측
Swell	233[V]	230.85[V]	233[V]	250.15[V]
	242[V]	239.93[V]	242[V]	258.25[V]
	250[V]	248.00[V]	250[V]	266.00[V]
Sag	207[V]	204.58[V]	207[V]	226.30[V]
	198[V]	195.47[V]	198[V]	218.30[V]
	187[V]	184.32[V]	187[V]	208.39[V]

4.2 태양광전원 연계시 인버터의 고조파 특성시험 및 분석

4.2.1 시험조건

그림 3은 태양광전원에 의한 고조파의 영향을 시험한 개념도이다. 본 시험은 선로임피던스 전단에 통합디지털보호기기, 감시제어장치를 설치하여 태양광전원에 의한 고조파의 영향을 시험하였다.



[그림 3] 고조파 시험 개념도

또한 배전선로의 적정 전력품질을 유지하기 고조파의 함유량을 제한하고 있다. 표 6은 IEEE 기준의 고조파 전류제한치이다.

[표 6] 전력계통 고조파 전류 제한치

Harmonic number	h<11	11≤h≤17	17≤h≤23	23≤h≤35	35≤h	TDD
Per.(%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

4.2.2 태양광전원 연계시 고조파 특성시험 및 분석

(1) 인버터에서의 Harmonic 발생 특성시험

태양광전원 연계전의 고조파특성은 표 7과 같고, 태양광전원 연계 후의 고조파특성은 표 8과 표 9, 표 10과 같다.

(a) 태양광 전원 연계전

[표 7] 태양광 연계전 고조파 분석

1[Ω]			3[Ω]		
고조파	DRy(%)	분석기(%)	고조파	DRy(%)	분석기(%)
1	100	100	1	100	100
3	1.9	2.1	3	2.0	1.4
5	5.8	4.3	5	11.63	8.6
7	1.8	1.3	7	3.1	1.6
TDD	6.36	6.8	TDD	12.2	11.92

주) Dry (통합디지털 보호기기)

(b) 태양광 전원 연계후

[표 8] 태양광전원(1,200W)이 연계된 경우의 고조파 분석

인버터 A사			인버터 B사		
고조파	DRy(%)	분석기(%)	고조파	DRy(%)	분석기(%)
1	100	100	1	100	100
3	8.79	8.2	3	1.47	1.7
5	8.77	7.7	5	12.34	8.7
7	3.89	2.2	7	3.61	1.9
TDD	13.01	13.03	TDD	12.94	12.85

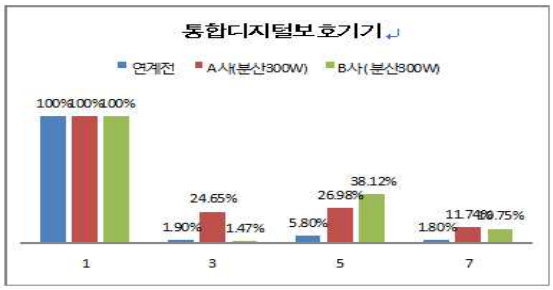
주) Dry (통합디지털 보호기기)

[표 8] 태양광전원(300W)이 연계된 경우의 고조파 분석

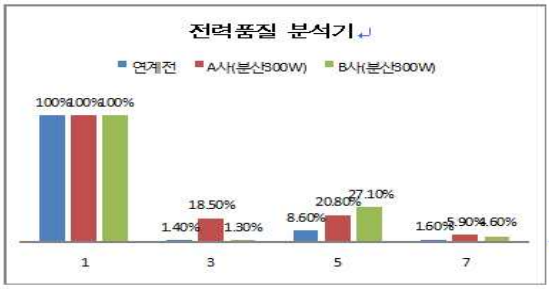
인버터 A사			인버터 B사		
고조파	DRy(%)	분석기(%)	고조파	DRy(%)	분석기(%)
1	100	100	1	100	100
3	24.65	20.9	3	1.47	1.4
5	26.98	24.5	5	38.12	29.7
7	11.74	6.2	7	10.75	6.6
TDD	38.38	32.79	TDD	39.63	37

(2) 종합분석

그림 4와, 그림 5와 같이 태양광전원이 계통연계 전에는 고조파 왜형율(TDD)은 배전선로 임피던스에 따라 6% 또는 12%로 나타났지만, 태양광전원이 300W로 운전하여 배전계통에 연계할 경우 38.12%까지 올라가는 것을 확인 하였다. 또한 태양광 전원이 1200W일 경우 12~13%까지 떨어졌으나, 여전히 배전계통에 나타는 고조파 왜형률(TDD)은 배전계통에 태양광전원을 연계하기전 보다는 높다는 것을 확인하였다. 즉 태양광전원이 계통에 있어서 고조파에 영향을 줄 수 있음을 확인 하였다.



[그림 4] 선로임피던스가 1Ω의 경우



[그림 5] 선로임피던스가 3Ω의 경우

5. 결 론

본 논문에서는 태양광전원 계통연계 시험장치를 제작하여, 배전계통에 Sag, Swell 발생이 태양광전원에 미치는 영향을 시험하고, 태양광전원이 정격용량 이하에서 운전할 때 발생되는 고조파 변동량을 확인하였다. 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 태양광전원이 연계된 배전계통에 Sag 발생시 부하(수전단)측의 전압은 태양광전원용량이 클수록 전원단보다 커져서 Sag를 보상하는 긍정적인 효과가 있음을 확인하였고, 태양광전원 계통연계는 배전계통에 Swell이 있을 때를 감안하여 부하(수전단)측에 가까운 지역에 연계되어져야 함을 확인하였다.

(2) 태양광전원(인버터)이 자신의 정격용량에서 계통연계되어 운전 시 에는 Harmonic발생에 따른 TDD가 5 이내로 문제점이 없으나, 태양광전원(인버터)이 정격용량 이하로 운전할 때에는 TDD가 약 38%까지 상승함을 확인하여 배전계통에 문제를 일으킬 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] 노대석 외 4인, “저압 배전계통에 있어서 태양광 연계시의 전력품질특성에 관한 연구”, 대한전기학회 춘계학술대회논문집

[2] 노대석 외 4인, “LabVIEW에 의한 태양광 연계시의전력품질 특성에 관한 연구” 한국산학기술 학회 춘계학술발표논문집

[3] 노대석 외 4인, “분산전원의 계통연계 시험장치 를 이용한 태양광전원의 고조파 특성에 관한 연구” 대한전기학회 하계학술대회 논문집