

태양광전원 계통연계 시험장치에 의한 수용가전압 특성에 관한 연구

박현석¹, 손준호¹, 지성호¹, 노대석^{1*}

¹한국기술교육대 정보기술공학부

A Study on the Customer Voltage Characteristic Based on the Test Devices for PV Systems

Hyeonseok Park¹, Joonho Son¹, Seongho ji¹ and Daeseok Rho^{1*}

¹Information School, Korea University of Technology

요약 본 논문에서는 배전계통 모의장치와 태양광전원 모의장치, LabVIEW를 이용한 감시제어장치로 구성된 태양광전원 계통연계 시험장치를 제작하여, 태양광전원의 연계용량과 계통의 선로 구성특성, 역률(역율1, 지상/진상역율)의 3가지 Parameter에 대한 태양광전원의 정상상태 운용특성을 모의하였다. 즉, 태양광전원의 연계 운용이 배전계통(수용가)에 미치는 영향과 배전계통이 태양광전원에 미치는 영향을 분석하여, 태양광전원의 계통연계 운용 시에 발생 가능한 기술적인 사항을 검토하였다. 그리고 계통연계 시험장치의 실험 결과치를 분석하기 위하여, 태양광전원 대응형 전압강하 계산 알고리즘을 제안하여, 이론적인 값과 시험치를 비교하여 태양광전원의 정상상태 특성에 대한 시험결과의 유용성을 확인하였다.

Abstract This paper develops an interconnection test devices for photovoltaic(PV) systems composed of distribution system simulator, PV systems simulator and control and monitoring systems using the LabVIEW S/W, and simulates the customer voltage characteristics considering the 3 parameters on the introduction capacity for PV systems, system configuration and load factor. This paper also proposes a new calculation algorithm for voltage profile to make a comparison between calculation values and test device values. The results show that the test results for the normal operation characteristics of PV systems is very practical and effective.

Key Words : PV Systems, Interconnection, Reverse Power Flow, Test Device, Customer Voltage

1. 서론

정부의 녹색성장정책에 의하여, 2030년까지 전체 에너지원 중 신에너지전원의 비중을 전체 에너지원의 11% 정도로 확대하는 정책(09년 현재 2.2%)을 적극적으로 추진하고 있다. 그러나 신에너지전원의 확대보급 활성화방안에 따라 지자체와 발전사업자 등의 도입계획은 많은 반면, 아직 국내에는 대응량 신에너지전원의 계통연계에 대한 기술기준 및 체계적인 선로운영 기술기준이 미흡한 실정이다.[1-5]

특히 충남 천안 목천의 해비타트 마을에 설치된 30여대의 태양광발전이 저압배전선로에 설치되어 운용되는 동안, 낮에는 태양광 발전량이 상승하여 계통으로 유입하는 역조류가 발생하여 수용가의 전압이 240V까지 상승하는 과전압 현상이 발생된 사례가 보고되고 있다. 또한, 대응량 분산전원(태양광, 풍력 등)이 연계된 고압선로의 선로전압조정장치(SVR)가 분산전원의 발전량에 의한 과전압 현상으로 기기의 오동작이 발생하는 실계통의 문제점이 다수 보고되고 있는 실정이다.[6-9]

이러한 배경 하에, 본 논문에서는 배전계통의 운용특

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20101020300430)

*교신저자 : 노대석(dsrho@kut.ac.kr)

접수일 10년 09월 12일

수정일 10년 10월 19일

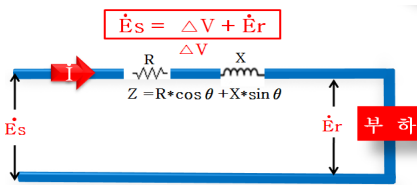
게재확정일 10년 11월 19일

성이 태양광전원에 미치는 영향과 태양광전원의 운용특성이 계통에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 배전계통 모의시험장치와 태양광전원 모의시험장치, 감시제어장치로 구성된 태양광전원 계통연계 시험장치를 실 계통의 특성을 살린 축소형으로 제작하였다. 그리고 3가지 Parameter(태양광전원용량, 모의선로/부하, 역률)를 다양하게 변동시켜, 태양광전원의 저압선로 연계시의 정상상태 특성을 모의하였다. 특히 LabVIEW용 감시제어장치를 제작하여, 태양광전원의 연계특성에 대하여 실시간으로 파형을 수집, 분석하여, 정상상태의 운용특성을 정확하게 평가할 수 있도록 하였다. 그리고 태양광전원 대응형 전압강하계산 알고리즘을 제안하여, 시험장치의 실험결과와 이론적인 값을 비교, 분석하여, 본 연구에서 제시한 태양광전원의 정상상태에 대한 시험결과가 유용함을 확인하였다.

2. 태양광전원대응형 전압강하해석 알고리즘

2.1 일반적인 전압강하계산 방법

그림 1은 선로말단에 단일부하가 집중되어 있을 경우 단상 2선식 배전선로의 등가회로이다. 여기서 임피던스는 $Z=R+jX$ 이며, \dot{E}_s, \dot{E}_r 은 송전단 및 수전단에서의 전압[V]이며, ΔV 는 $\Delta V = |E_s| - |E_r| = I(R\cos\theta + X\sin\theta)$ 에 의해서 계산 할 수 있다.[2]



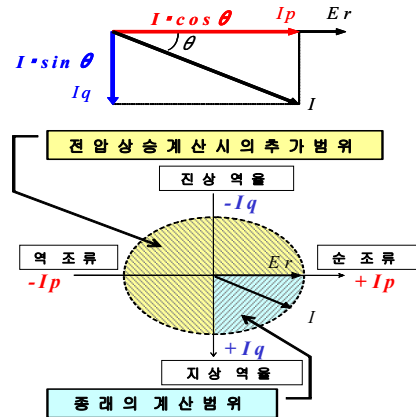
[그림 1] 일반적인 전압강하 해석 개념도

기존의 전압강하 계산방법은 태양광전원 연계에 따른 역조류 영향을 전혀 고려하지 못한다. 즉, 태양광전원의 역조류에 대하여 전압강하의 크기(스칼라)에 방향만 반대로 표시함으로써 태양광전원의 투입에 따라 변하게 되는 역률(Cosθ)을 고려하지 못하여, 태양광전원 연계에 따른 전압강하 계산에 오차가 발생하는 문제점을 가지고 있다.

2.2 역조류 대응형 전압강하 해석법

참고문헌 [1]에서 제시한 방법은 부하전류(I)를 유효

전류 분(I_p)과 무효전류 분(I_q)으로 분해하고, 조류 방향(유효전력의 방향)과 역률을 고려하여 4개의 상한을 모두 고려하여 분산전원의 역조류를 고려한 전압강하계산 알고리즘이다. 그림 2와 같이, 조류 방향(유효전력의 방향)과 무효전력을 적절하게 반영하여, 전압강하뿐만 아니라 전압상승도 계산할 수 있다.

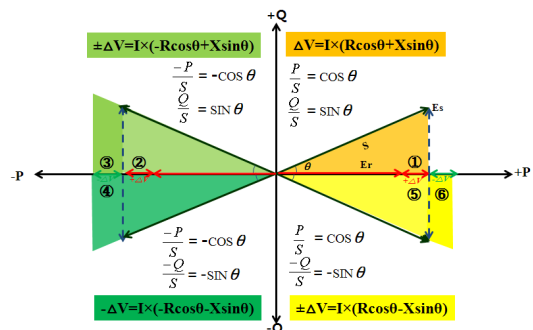


[그림 2] 역조류대응형 전압강하해석 개념도

그러나 이 계산방법은 삼각함수의 수학적 방식에서 보면, 진상 역률과 지상 역률의 수직방향이 바뀌어, 1, 2, 3, 4상한에 따른 역률(cosθ)과 sinθ을 계산하기 이전에 $\theta = \tan^{-1}(Q/P)$ 를 먼저 구해야 하므로, 계산하기에 복잡하다는 단점을 가지고 있다.

2.3 태양광전원대응형 전압강하해석 알고리즘

본 연구에서 제시한 태양광전원 대응형 전압강하 알고리즘은 그림 2의 수학적인 오류방법을 개선하여, 그림 3과 같이 수학적인 삼각함수의 좌표평면 해석방법에 기반하여, 유·무효 전력에 따른 피상전력을 기준으로 역률(Cosθ)과 Sinθ의 크기와 방향을 정하여 계산한다.[10]-[13]



[그림 3] 태양광전원 대응형 전압강하 개념도

특히 선로조건에 따라 6가지의 경우로 해석이 가능하며, 선로의 전압강하(+ΔV) 및 상승(-ΔV)을 쉽게 확인할 수 있고, 전압의 상승 또는 강하분을 계산하여 계통해석이 가능하다. 단거리선로에서의 전압강하 식은 $\Delta V = I \times (R \cos \theta + X \sin \theta)$ 이다. 유무효전력에 따라 역률(Cos θ), Sin θ 값이 결정되며, 태양광전원과 부하용량에 따라 역조류 유무가 결정되며, 이 3가지 Parameter(Cos θ, Sin θ, 조류)에 의해 선로 전체의 전압이 상승 또는 하강하게 된다. 그리고 수직접선을 기준으로 송전단전압(Es)과 수전단전압(Er)관계에 의한 ±ΔV값을 좌표에 표시함으로써 2차원적으로 전압 상승/강하를 쉽게 해석할 수 있다.

표 1의 ①, ⑤, ⑥은 부하용량이 태양광전원보다 큰 경우, 유도성부하(+Q)와 용량성부하(-Q)에 대한 전압 상승/강하의 알고리즘을 나타낸 것이다. 1상한은 부하용량이 태양광전원보다 큰 경우로 전압강하만 발생하며, 표 1의 ①지점을 통해서 쉽게 확인할 수 있다. 4상한의 경우에는 2가지의 경우로 나누어 해석할 수 있다. 첫째 선로조건 중 $R \cos \theta > X \sin \theta$ 일 경우, $\Delta V = I \times (R \cos \theta - X \sin \theta)$ 에서 ($R \cos \theta - X \sin \theta$) 부분이 (+)가 되어 전류(I)가 양수라는 가정 하에 전압강하(+Δ)로 해석할 수 있으며, 그림 3의 ⑤로 확인할 수 있다. 만약 $R \cos \theta < X \sin \theta$ 인 경우, ($R \cos \theta - X \sin \theta$)이 (-)가 되어 전압상승(-ΔV)으로 해석할 수 있으며, 이때 수전단 전압(Er)이 송전단 전압(Es)보다 커짐을 알 수 있고, 표 1의 ⑥으로 확인할 수 있다.

[표 1] 태양광전원의 전압강하특성 분석표(I)

비교 조건	부하용량 > 태양광전원		
	유도성 부하(+Q)	용량성 부하(-Q)	
상한 별 벡터 도			
선로 조건	$R \cos \theta > 0$, $X \sin \theta > 0$ [①]	$R \cos \theta >$ $X \sin \theta$ [⑤]	$R \cos \theta <$ $X \sin \theta$ [⑥]
전압강 하식	$\Delta V = I \times (R \cos \theta + X \sin \theta)$	$\Delta V = I \times (R \cos \theta - X \sin \theta)$	
선로 전압	+ΔV (전압강하)	+ΔV (전압강하)	-ΔV (전압상승)

[표 2] 태양광전원의 전압강하 특성 분석표(II)

비교 조건	태양광전원 < 부하용량		
	용량성 부하(-Q)	유도성 부하(+Q)	
상한 별 벡터 도			
선로 조건	$R \cos \theta > 0$, $X \sin \theta > 0$ [④]	$R \cos \theta <$ $X \sin \theta$ [②]	$R \cos \theta >$ $X \sin \theta$ [③]
전압강 하식	$\Delta V = I \times (-R \cos \theta - X \sin \theta)$	$\Delta V = I \times (-R \cos \theta + X \sin \theta)$	
선로 전압	-ΔV (전압상승)	+ΔV (전압강하)	-ΔV (전압상승)

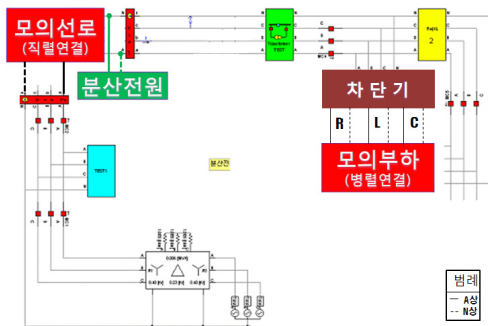
한편, 표 2의 ②, ③, ④는 부하용량이 태양광전원보다 작은 경우로서, 유도성부하(+Q)와 용량성부하(-Q)에서의 전압 상승과 전압강하의 알고리즘을 나타낸 것이다. 3상한의 경우, 부하용량이 태양광전원보다 작아, 태양광전원이 전원측으로 공급(역조류)되어 전압상승이 발생하며, 그림 3의 ④에서 쉽게 확인할 수 있다. 2상한의 경우에는 2가지의 경우로 나누어 해석할 수 있다. 첫째 선로 조건 중 $R \cos \theta < X \sin \theta$ 인 경우, $\Delta V = I \times (-R \cos \theta + X \sin \theta)$ 에서 ($-R \cos \theta + X \sin \theta$) 부분이 (+)가 되며, 전류(I)는 양수라는 가정 하에 전압강하(+Δ)로 해석할 수 있으며, 표 2의 ②로 확인할 수 있다. 만약 $R \cos \theta > X \sin \theta$ 인 경우, ($-R \cos \theta + X \sin \theta$)이 (-)가 되어 전압상승(-ΔV)으로 해석할 수 있다. 이때 수전단 전압(Er)이 송전단 전압(Es)보다 커짐을 알 수 있으며, 표 2의 ③에서 확인할 수 있다.

3. 태양광전원 계통연계 시험장치 제작

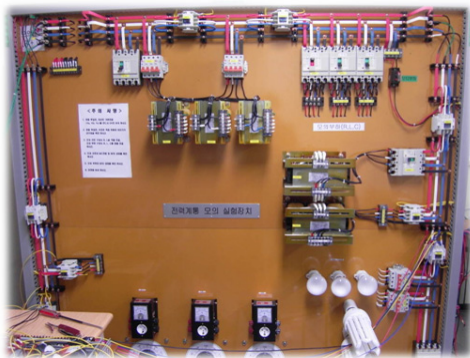
본 연구에서 제작한 태양광전원 계통연계 시험장치는 분산전원의 계통연계 가이드라인의 기술적인 검토사항을 고려하여 실계통을 축약하여 제작하였다. 본 시험장치는 배전계통 모의장치와 태양광전원 모의장치, LabVIEW용 감시제어장치로 구성된다.[14]-[16]

3.1 배전계통 모의시험 장치

배전계통 모의 시험장치는 그림 4와 같이 격리변압기를 이용하여 3상4선식 380/220V의 저압선로를 구성하고, 선로의 각 구간에는 M/C와 NFB를 이용하여 보호기와 개폐기를 대응하게 하였다. 모의선로를 제어하기 위한 제어회로는 그림 5와 같다. 여기서, 모의선로(R+jX)는 임피던스의 조정이 가능하도록 MC를 조합하여, R값과 X값을 $1[\Omega]$ 단위로 1~15 $[\Omega]$ 을 조정할수 있는 시험장치를 제작하였다.

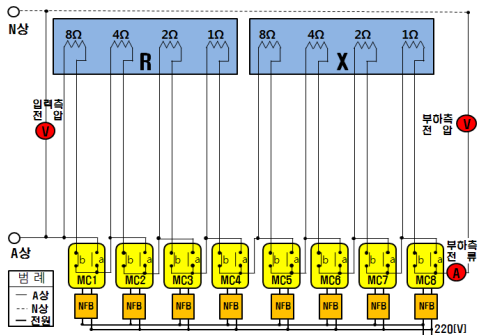


(a) 개념도



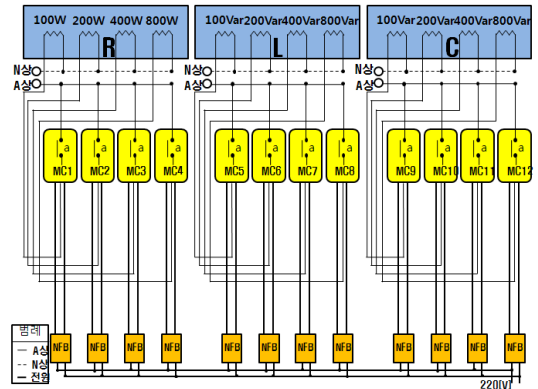
(b) 외관

[그림 4] 태양광전원 계통연계 시험장치



[그림 5] 모의선로 제어회로

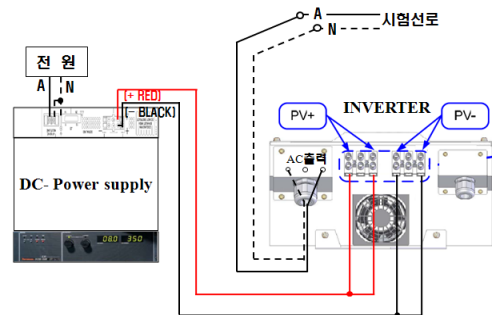
또한, 모의선로에 접속되는 부하를 종류별로(저항, 인덕터, 콘덴서) 모의하고 조정할 수 있도록 그림 6과 같이, MC로 조합하여 저항은 100[W]단위로 100~1,500[W] 조정하고, 인덕터와 콘덴서 부하도 100[VAR]단위로 100~1,500[VAR]로 조정이 가능하도록 제작하였다.



[그림 6] 모의부하 제어회로

3.2 태양광전원 모의시험 장치

태양광전원은 그림 7과 같이 계통연계용 인버터 (3KVA)와 DC전원공급장치 (1,200W)로 구성되며, DC전원공급장치의 출력전류를 가변시켜 태양광전원의 출력량을 조정하도록 하였다. DC 전원공급장치의 출력범위는 전압400[V] × 전류3[A]이며 300~1,200[W]까지 조절이 가능하다. 인버터에서 나온 출력은 배전계통 모의장치(그림 4참조)에 연계시켜 전력을 공급한다.

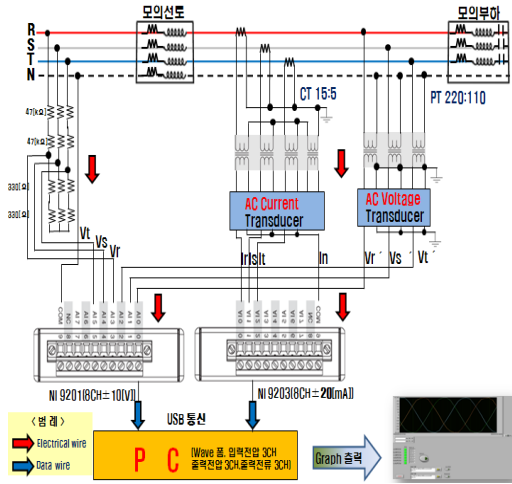


[그림 7] 태양광전원 모의시험 장치 구성도

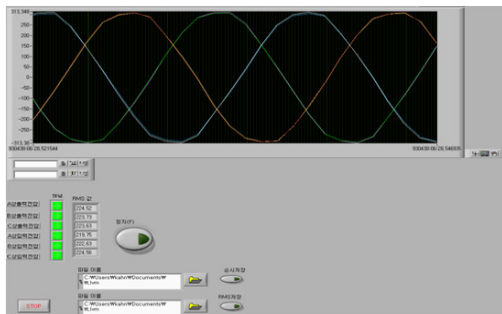
3.3 LabVIEW용 감시제어 장치

아날로그 입력장치인 NI9201과 NI9203을 이용하여 그림 8, 그림 9와 같이 구성하였으며, 실시간 전압, 전류 파형을 감시제어 및 분석할 수 있도록 제작하였다. Digital device인 NI9425와 NI9477을 이용하여, 그림 10,

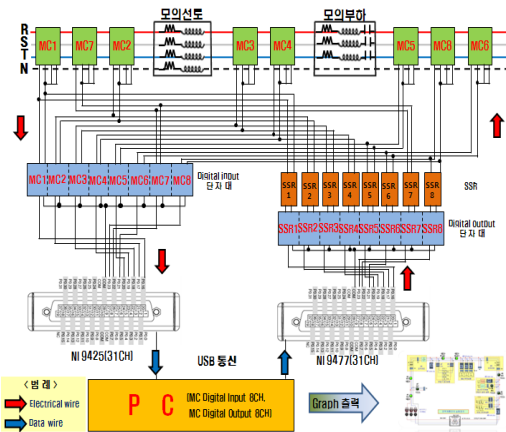
그림 11과 같이 구성하여, PC로 태양광 계통연계 시험장치의 8개 MC를 제어(On/Off)할 수 있도록 구성하였다.



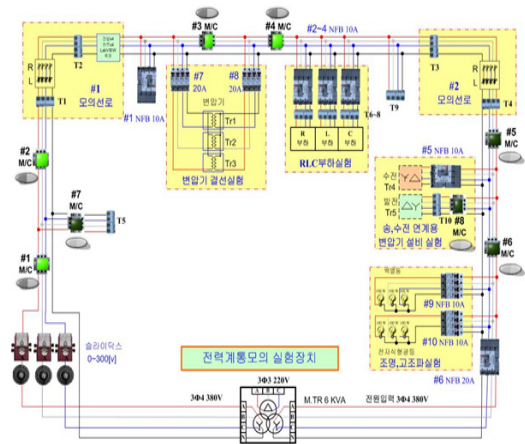
[그림 8] LabVIEW의 Analog Input 구성도



[그림 9] LabVIEW의 Analog Input 출력



[그림 10] Digital Input과 Output 구성도



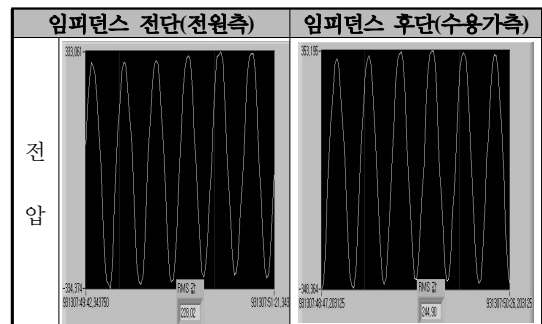
[그림 11] LabVIEW의 출력화면

4. 시험장치에 의한 시뮬레이션 분석

본 연구에서 제작한 태양광전원 계통연계 시험장치를 이용하여, 정상상태의 운용특성을 분석하기 위하여, 3가지 parameter(태양광전원, 모의선로/부하, 역률)를 변동시켜 다양한 시뮬레이션을 수행하였다. 여기서는 역률 1일 때의 수용가전압 변동 특성과 지상역률(0.91), 진상역률(0.91)에 대하여 태양광전원이 연계된 저압배전선로의 운용특성 즉, 수용가 측의 전압특성을 분석하였다.

4.1 역률 1에 대한 수용가전압 특성

역률이 1인 경우, 시험조건으로 부하=400[W], 선로임피던스=1[Ω], 태양광전원=1200[W]에 대하여 수용가 전압변동을 분석하면 그림 12, 표 3과 같다. 이 표에서는 시험장치에 의한 결과 및 이론치(태양광전원 대응형 전압강하해석방법)에 의하여 비교, 분석한 결과로서, 오차율이 2% 이내로 큰 문제점이 없음을 확인할 수 있었다.

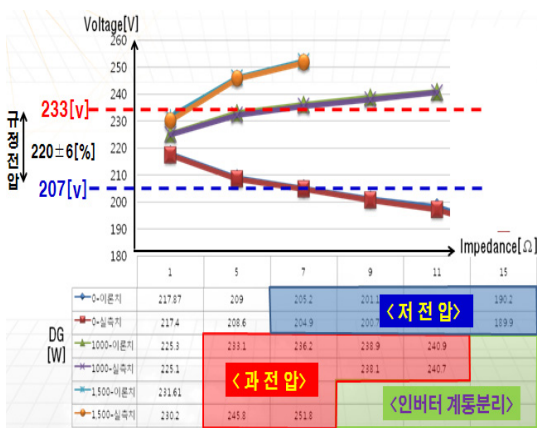


[그림 12] LabVIEW에 의한 전압측정 결과(역률 1)

[표 3] 수용가전압 분석(역률 1)

이론치	실측치와 이론치의 비교								
$V(\text{전원측 전압}) : 227.8[\text{V}]$ $P = 400(\text{부하}) - 1200(\text{태양광 전원}) = -800[\text{W}]$, $Q=0[\text{VAR}]$, $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 800[\text{VA}]$ $\text{Cos}\theta = P/S = 800/800 = 1$ $\text{Sin}\theta = Q/S = 0/800 = 0$ $Z = R + jX[\Omega]$, $= r \cdot \text{cos}\theta + x \cdot \text{sin}\theta$ $= 5 * 1 + 2 * 0 = 5[\Omega]$ $P = I * V, -800 = I * 227.8$ $I = -3.51[\text{A}]$ $\Delta V = I * Z = -3.51 * 5 = -17.55[\text{V}]$ $V(\text{수용가측 전압}) = 227.8 - \Delta V = 245.35[\text{V}]$	RMS 값 <table border="1"> <thead> <tr> <th>측정횟수</th> <th>평균값</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1회</td> <td>244.9 [V]</td> </tr> <tr> <td>2회</td> <td>244.8 [V]</td> </tr> <tr> <td>3회</td> <td>245.0 [V]</td> </tr> </tbody> </table> 오차 = 이론치 - 실측치 = 0.45 오차율 = (오차/실측치)*100 = 0.18%	측정횟수	평균값	1회	244.9 [V]	2회	244.8 [V]	3회	245.0 [V]
측정횟수	평균값								
1회	244.9 [V]								
2회	244.8 [V]								
3회	245.0 [V]								

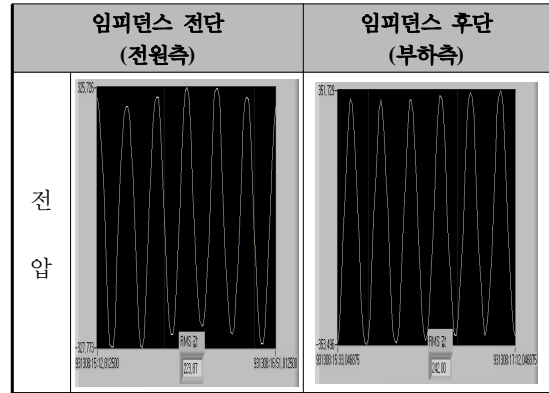
한편, 그림 13은 부하가 400[W]인 경우, 선로임피던스를 변화(1 - 15[Ω])시키고, 태양광전원의 용량을 0 - 1500[W]를 변화시키며, 수용가 전압변동 특성을 트렌드로 분석한 것이다. 태양광전원이 없을 때는 선로 임피던스가 증가할수록 전압강하가 비례적으로 증가하여 수용가 말단에 저전압이 발생하였고, 태양광전원이 연계되는 경우, 태양광전원 연계용량이 증가할수록 수용가 측 전압이 비례적으로 증가하여 과전압현상이 발생함을 알 수 있었다. 특히 태양광전원의 역조류 용량이 증가하고, 선로공장이 증가하는 경우에는, 태양광전원용 인버터의 전압이 한계치(250[V]) 초과하여 인버터 내의 OVR 동작을 초래하여, 인버터의 동작정지현상(계통분리)을 발생시킨다는 사실을 알 수 있었다.



[그림 13] 수용가전압 특성(역률 1)

4.2 지상역률에 대한 수용가전압 특성

그림 14와 표 4는 지상역률(0.91)인 경우, 시험장치에 의한 실험결과와 이론치에 대하여 비교, 분석한 결과이다.

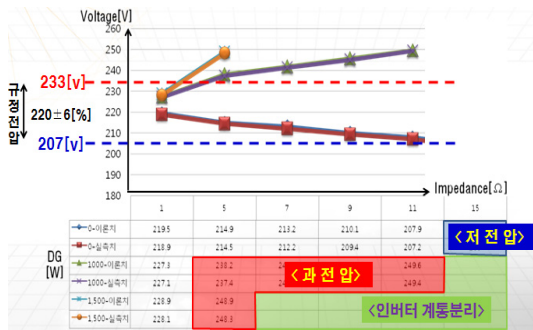


[그림 14] LabVIEW의 전압측정 결과(지상역률)

[표 4] 수용가전압결과 분석(지상역률)

이론치	실측치와 이론치의 비교								
$V(\text{전원측 전압}) : 227.8[\text{V}]$ $P = 400(\text{부하}) - 1200(\text{태양광전원}) = -800[\text{W}], Q=180[\text{VAR}]$, $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 820[\text{VA}]$ $\text{Cos}\theta = P/S = -800/820 = -0.98$ $\text{Sin}\theta = Q/S = 180/820 = 0.22$ $Z = R + jX[\Omega], 5 * (-0.976) + 2 * 0.22 = -4.44[\Omega]$ $P = I * V, -800 = I * 223 * (-0.976)$ $I = 3.67[\text{A}]$ $\Delta V = I * Z = 3.67 * (-4.44) = -16.29[\text{V}]$ $V(\text{수용가측 전압}) = 223 - \Delta V = 239.3[\text{V}]$	RMS 값 <table border="1"> <thead> <tr> <th>측정횟수</th> <th>평균값</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1회</td> <td>242.0 [V]</td> </tr> <tr> <td>2회</td> <td>242.3 [V]</td> </tr> <tr> <td>3회</td> <td>241.7 [V]</td> </tr> </tbody> </table> 오차 = 이론치 - 실측치 = 2.7 오차율 = (오차/실측치)*100 = 1.12%	측정횟수	평균값	1회	242.0 [V]	2회	242.3 [V]	3회	241.7 [V]
측정횟수	평균값								
1회	242.0 [V]								
2회	242.3 [V]								
3회	241.7 [V]								

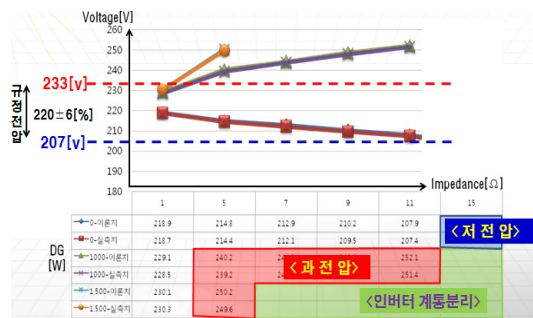
그림 15는 저항부하가 400[W]이고 리액터부하가 180[VAR]인 경우(지상역률 : 0.91)에 대하여, 선로임피던스를 변화(1 - 15[Ω])시키고, 태양광전원의 용량을 0 - 1500[W]를 변화시키며, 수용가 전압변동 특성을 트렌드로 나타낸 것이다. 유도리액트에 의한 전압강하분이 역률 1인 경우보다 증가하여 선로의 전압강하분에 반영되어 수용가 측의 전압에 영향을 미침을 알 수 있었다. 즉, 역률 변동에 따라 수용가 측 전압이 245V에서 239V로 변동되어, 역률이 계통의 전압품질(저전압/과전압)에 큰 영향을 미침을 확인하였다.



[그림 15] 지상역률에 대한 수용가전압 특성

4.3 진상역률에 대한 수용가전압특성

그림 16은 저항부하가 400[W]이고 콘덴서부하가 180[VAR]인 경우(진상역률 : 0.91)에 대하여, 선로임피던스를 변화(1 - 15[Ω])시키고, 태양광전원의 용량을 0 - 1500[W]를 변화시키며, 수용가 전압변동 특성을 트랜드로 분석한 것이다. 용량성 리액턴스부하에 의하여 전압상승분(페란티효과)이 증가하여 선로의 전압강하분에 반영되어 수용가 측의 전압에 영향을 미침을 알 수 있었다. 즉, 지상역률 시의 수용가 측 전압(239V)에 비하여 244V로 상승되어, 역률이 계통의 전압품질[저전압/과전압]에 중대한 영향을 미침을 확인하였다.



[그림 16] 진상역률에 대한 수용가전압 특성

5. 결론

본 논문에서는 태양광전원 계통연계 시험장치를 제작하여, 3가지 Parameter(역률, 모의선로/부하, 태양광전원 용량)를 변동시켜, 태양광전원의 정상상태 특성 즉, 수용가 측 전압특성을 분석하였다. 또한 정확한 분석을 위하여 새로운 전압강하 계산법을 제시하여 시험결과와 비교, 분석하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 태양광전원의 연계용량이 증가할수록 수용가 측

전압이 비례적으로 증가하여 과전압현상이 발생할 수 있었고, 극단적인 경우에는 태양광전원용 인버터 전압이 한계치(250[V]) 초과하여 인버터 내의 OVR 동작을 초래하여, 인버터의 동작 정지현상(계통분리)을 발생시킨다는 사실을 확인할 수 있었다.

- (2) 지상역률일 때는 유도리액턴스에 의한 전압강하분이 역률 1인 경우보다 증가하여, 선로의 전압강하분에 반영되어 수용가 측의 전압에 영향을 미침을 알 수 있었다. 즉, 역률 1인 경우의 수용가 측 전압(245V)보다 더 작은 239V로 감소하여, 역률이 계통의 전압품질[저전압/과전압]에 큰 영향을 미침을 확인하였다.
- (3) 진상역률인 경우에는 용량성 리액턴스부하에 의하여 전압상승분이 증가하여, 선로의 전압상승분에 반영되어 수용가 측의 전압에 영향을 미침을 알 수 있었다. 즉, 지상역률 시의 수용가 측 전압(239V)에 비하여 244V로 상승되어, 역률이 중대한 요소임을 확인하였다.
- (4) 선로의 길이(임피던스)와, 부하크기, 태양광전원의 용량에 따른 수용가의 전압특성을 해석하여 태양광전원의 한계 도입용량과 도입 위치 등에 대한 기술적인 사항을 구체적으로 검토하였다. 또한 실제 계통에서 발생한 과전압의 문제점을 실험에 의한 방법과 이론적인 방법에 의하여 검증할 수 있었다.
- (5) 실험치와 비교하기 위해 수학적 개념을 활용한 태양광전원 대응형 전압강하 해석알고리즘을 제안하여, 두 값의 오차가 1% 이내임을 입증하여 제안한 수법의 유용성을 확인하였다.

앞으로 인버터로 연계되는 태양광전원뿐만 아니라 풍력발전을 모의할 수 있는 유도기와 동기기 모의장치를 제작하여, 분산전원의 계통연계 특성을 전반적으로 시험할 수 있는 장치를 제작하여, 구체적인 기술검토를 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] H. Soi, H. Yakabe, H. Kakimoto, T. Hayashi & M. Kanori, "Development of High Voltage Distribution Line Management System", IEEEJP & Society, No.32 1995.
- [2] James J. Burke, "Power Distribution Engineering", Dekker, Inc. pp. 320-348, 1994.
- [3] Chanhyeok Kim, Osung Park, Beomtae Lee,r, Daeseok

Rho,, IEEE "Optimal Algorithms for Voltage Management in Distribution Systems Interconnected with New Dispersed Sources" IEEE T&D Asia 2009.

- [4] 송길영, "최신 송배전공학", 동일출판사
- [5] "분산전원 계통연계가이드라인", JEC 4201, 일본, 2002.4.
- [6] EPRI, "Electricity Technology Road Map", 2003.
- [7] "배전전압관리 매뉴얼", 일본 북해도전력, 2003.1.
- [8] "풍력발전 계통연계 기술지침 및 연계선로 운영기준 제정에 관한 연구", 한전 전력연구원, 2006.
- [9] "배전전압관리 개선에 관한 연구", 한전 전력연구원, 2003.10.
- [10] 김미영, "배전계통의 전압조정기 운영방법에 따른 분산형전원 최대 도입 용량 산출", 전기학회논문지 제58권 제7호, 2009.7 : 1255~1261.
- [11] 김미영, "분산형전원 도입된 배전계통의 최적전압조정방안에 관한 연구", 전기학회논문지 제54A권 제5호, 2005.5 : 205~210.
- [12] 노대석 외 5인 "고압배전선로용 선로전압조정장치(SVR)의 최적 도입방안에 관한 연구", 전기학회논문지 제53A권 제11호, 2004.11 : 581~587.
- [13] 노 대석 외 2인, "저압 배전선로에 연계된 태양광발전의 정상상태 특성연구", 대한전기학회 전력기술부문화 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, 2010.5.
- [14] 노 대석 외 1인, "분산전원의 배전계통연계 자동관정 알고리즘 개발에 관한 연구", 대한전기학회, 전기학회 논문지, 제56권 제11호 2007.11.
- [15] 노 대석 외 3인, "저압 배전선로에 연계된 태양광발전의 정상상태 특성연구", 대한전기학회 전력기술부문화 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, 2010.5.
- [16] 노 대석 외 2인, "분산전원이 연계된 배전계통의 전압조정장치 최적 운용 프로그램 개발", 대한전기학회 전력기술부문화 전력계통연구회 하계학술대회 논문집, 2010.7.

박 현 석(Hyeon-Seok Park)

[정회원]



- 2007년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과(공학석사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자공학과 박사과정 재학중

<관심분야>

분산형전원, 신재생에너지, 스마트그리드

손 준 호(Joon-Ho Son)

[준회원]



- 2009년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2009년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 석사과정 재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 분산형전원, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석

지 성 호(Seong-Ho Ji)

[준회원]



- 2003.12 : 발송배전기술사 취득
- 2005.4 : 핵심분석발송배전기술사저서(동일출판사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 석사과정 재학중

<관심분야>

소형열병합발전과계통연계운용, 분산형전원, 신재생에너지, 스마트그리드, 배전계통 정상상태

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석