

AutoBase를 이용한 태양광전원 계통연계 시험장치 제작에 대한 연구

김병기*, 류효창*, 김익현*, 조재효*, 김은미*, 노대석*

*한국기술교육대학교

e-mail: dsrho@kut.ac.kr

A Study On the Test Devices for PV Systems Using the Auto Base S/W

Byungki Kim*, Hyochang Ryu*, Ikhyun Kim*, Jaehyo Jo*,
Eunmi Kim*, Daeseok Rho*

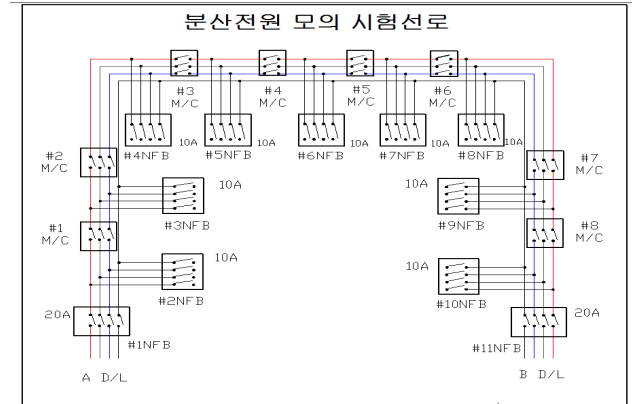
*Korea University of Technology and Education

요 약

현재 분산전원이 배전계통에 도입되어 운용이 이루어지고 있어 계통 운용상의 전압 변동에 의한 문제점이 야기될 가능성이 높아지고 있다. 이러한 문제점들을 해석하고 대책을 세우기 위한 연구의 필요성이 증가하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 AutoBase S/W를 이용하여 모의 배전계통과 부하를 모의할 수 있는 태양광전원 모의시험장치를 제작하고, 계통연계 특성을 시험하여, 분산전원(태양광전원)이 배전계통에 연계될 경우, 정상상태의 특성을 분석하여 이에 대한 문제점을 파악하고 그에 대한 해결책을 제시하였다.

1. 서 론

태양광과 풍력 등의 친환경적인 신에너지전원의 사용으로 온실가스 및 공해 저감효과의 장점이 있다. 그러나 부하와 전원이 혼재되어 운용되는 형태이기 때문에 분산전원이 배전계통에 연계됨에 따라 사고전류의 증가, 보호협조의 문제, 전압제어에 대한 문제, 고조파 발생 등의 문제점이 발생할 수 있으므로 이에 대한 적절한 연구가 필요하게 되었다. 본 논문에서는 태양광전원 모의시험장치를 제작하고, 계통연계 특성을 시험하여, 태양광전원의 정상상태의 특성을 해석하고 분석하여, 이에 대한 해결책을 제시하였다.



[그림 1] 배전계통 모의장치

2. 본 론

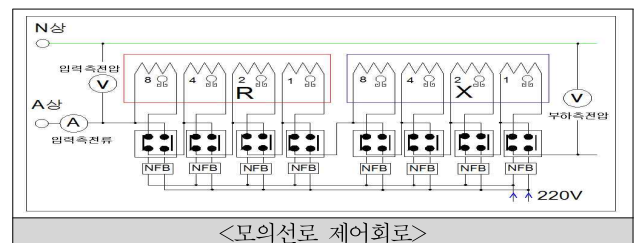
2.1 태양광발전의 계통연계 시험장치 구성

태양광전원 모의시험장치는 배전계통 모의장치, 분산전원 모의장치 (태양광 발전), Auto Base S/W를 이용한 감시제어장치로 구성된다.

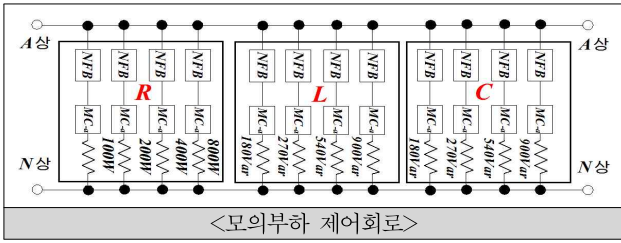
2.1.1 모의 배전계통 시험장치

모의 배전계통은 그림 1과 같이 3권선 변압기를 이용하여 3상4선식 380/220V의 저압선로를 구성하고, 선로의 각 구간에는 M/C와 NFB를 이용하여 차단기함(CB)의 역할을 대응하게 하였으며, 모의 부하를 통해 가변부하를 인가하여 부하특성을 조정하고, 분산전원을 부하 후단에 설치하여 연계하도록 하였다.

모의선로(R+jX)는 그림 2의 모의선로 제어회로와 같이 임피던스 조정이 가능하도록 MC조합하여 1 [Ω]단위로 1~15[Ω] 조절 가능한 장치를 제작하였고, 모의부하는 그림 2의 모의부하 제어 회로와 같이 종류별(저항, 리액터, 콘덴서) 모의하여 부하의 용량을 조절할 수 있도록 MC로 조합하여 저항은 100[W]단위로 100~1500[W] 범위로 조절이 가능하도록 하였다.



<모의선로 제어회로>



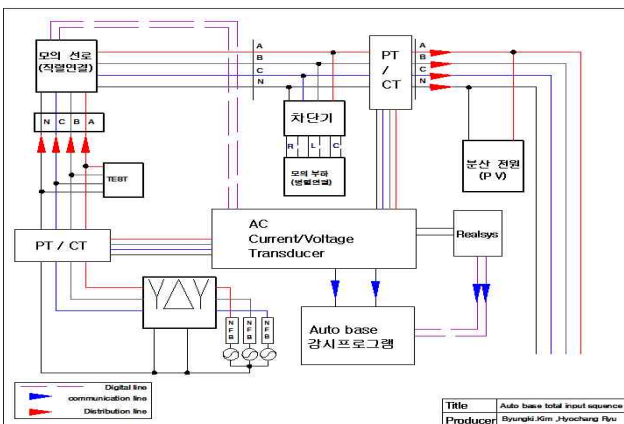
[그림 2] 모의선로 및 부하의 구성도

2.1.2 태양광전원 모의 시험장치

분산전원은 계통연계용 인버터(3KVA)와 DC Power Supply의 출력을 가변 하여 분산전원의 출력량을 조정하도록 구성하였다. 분산전원의 출력범위는 300~1,200[W]까지 조절이 가능하며 인버터에서 나온 출력은 배전계통 모의 장치에 연계 되어 전력을 공급한다.

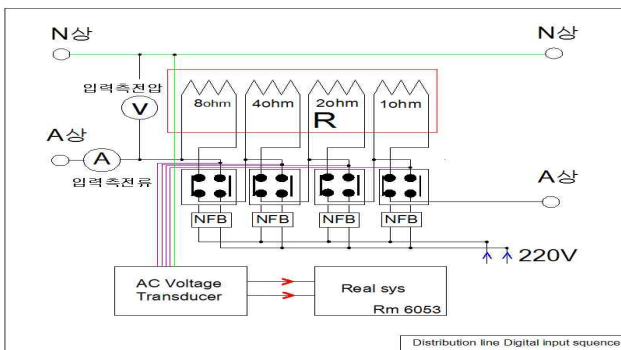
2.1.3 감시제어 시험장치 구성

Auto Base는 현재 자동화 현장에서 많이 사용되어지고 있는 자동화 기기로 모의선로와 모의부하 제어 및 배전계통의 보호협조 회로의 데이터를 감시 할 수 있도록 구성되어 있으며 Total 구성도는 그림 3과 같다.

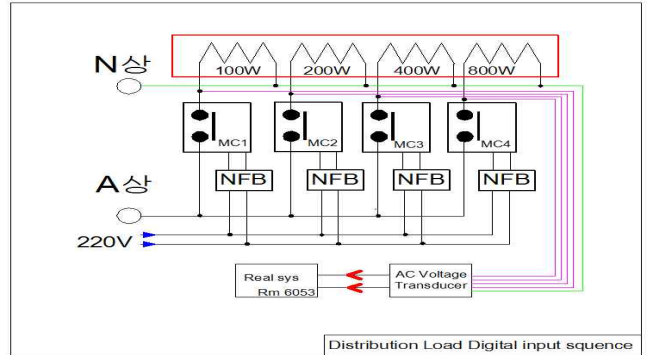


[그림 3] 감시제어 시험장치 Total 구성도

Digital input의 경우 모의 선로와 모의 부하에 따라 달라지며 그림 4, 5는 R에 대한 구성도를 나타낸 것이며 Transducer를 거쳐 Real sys로 전송 된다.

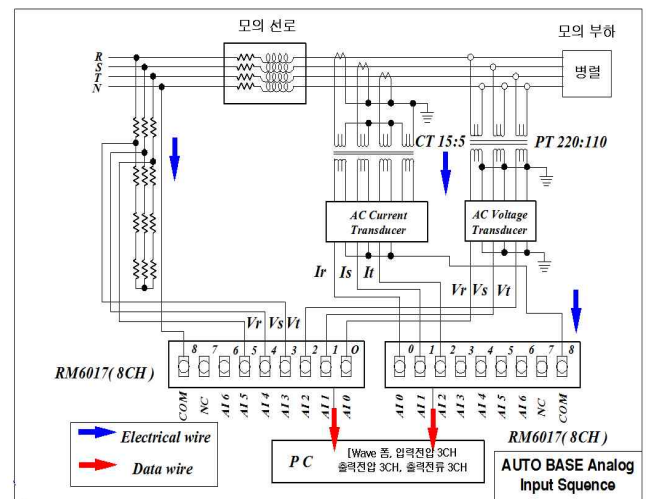


[그림 4] 모의 선로 Digital input 구성도



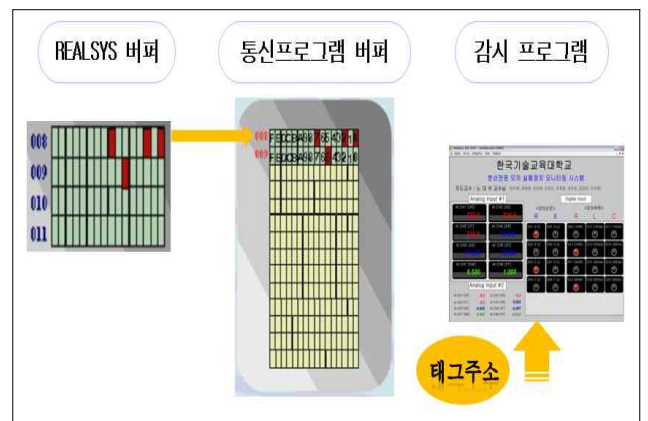
[그림 5] 모의 부하 Digital input 구성도

아날로그 입력의 구성도는 그림 6과 같이 표현 할 수 있으며 PT/CT와 Transducer를 거친 후 Controller로 전송된다.



[그림 6] Analog input 구성도

Auto base의 S/W의 전송 순서는 그림 7과 같으며, RealSys 통신보드로부터 전송된 데이터가 통신 프로그램으로 저장되고 통신프로그램에서 태그 설정을 통해 감시 제어프로그램의 그래프적으로 표현된다.



[그림 7] Auto base의 Software 전송 순서도

2.2 정상상태 시 계통연계특성 시험 및 분석

2.2.1 정상상태시 계통연계 특성시험방법

Auto Base의 감시제어 프로그램의 실행순서는 그림 8과 같고, 감시제어 메뉴화면은 그림 9와 같다. 그림 9와 같이 모의 선로와 모의 부하를 감시화면을 통해 직접 제어가 가능하다. 또한, 오른쪽 화면의 Display로 전압 및 전류를 측정가능하며, 전압과 전류가 표시되는 부분을 클릭하면 전압, 전류의 파형이 실시간으로 계측된다.

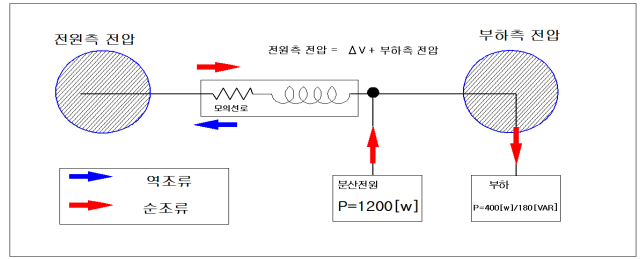
| | |
|---|--|
| <p>순서 1</p> | <p>순서 2</p> |
| <p>설명 1</p> <p>Auto Base작업 화면에서 한국기술교육대학교 Demo를 선택 후 편집버튼을 클릭.</p> | <p>설명 2</p> <p>우측 화면의 Graphic -> Startup .modx를 더블 클릭하여 스튜디오 실행.</p> |
| <p>순서 3</p> | <p>순서 4</p> |
| <p>설명 3</p> <p>메뉴bar의 감시 프로그램을 클릭하여 실행.</p> | <p>설명 4</p> <p>전체 화면을 통해 감시 화면이 표시되며 이것을 통해 감시 및 제어가 가능.</p> |

[그림 8] Auto Base 실행순서

[그림 9] Auto Base의 감시 제어프로그램 메뉴

2.2.2 계통 연계 시 전압 변동 시험

그림 10과 같이 분산전원이 투입됨으로 인해서 최초 부하에 의한 역률 값에 변화가 생기게 되며, 기존 R부하에서 분산전원의 발전량의 차, 즉 역조류를 고려하여 수정 역률을 구해준다.



[그림 10] 분산 전원 연계 시 전압해석 개념도

[표 1] 전압강하 계산식

| 전압강하 계산식 | | | |
|-------------|---|----------|---------------------------|
| P [W] | 부하 - 분산전원 | P [W] | $VIX\cos\theta$ |
| S [VA] | $\sqrt{P^2 + Q^2}$ | I [A] | $P/(V \times \cos\theta)$ |
| cosθ (수정역률) | P/S | ΔV [V] | $I \times Z$ |
| Z [Ω] | $R \times \cos\theta \pm X \times \sin\theta$ | | |
| 부하측 전압[V] | | 220 - ΔV | |

(1) 역률 1인 경우

역률이 1(부하=400[W], 선로임피던스=5[Ω], 분산전원=300[W])인 경우의 시험결과는 그림 11과 같다. 표 2의 이론값과 실험값을 비교하면 거의 일치함을 확인할 수 있었다.

| 이론치 | | | |
|---------|----------|----------|----------|
| 입력전압[V] | 임피던스[Ω] | 전류[A] | 출력전압[V] |
| 222 | 5 | 0.45 | 219.75 |
| 결과치 | | | |
| 전원측 전압 | 부하측 전압 | 실험값 | |
| | | 측정 1회[V] | |
| | | 219.5 | |
| | | 측정 2회[V] | |
| | | 219.3 | |
| | | 측정 3회[V] | |
| | | 219.4 | |
| | | 평균 값[V] | |
| | | 219.4 | |
| 전압 | 전압 | 전류 | 전력 |
| 222[V] | 219.4[V] | 0.459[A] | 0.108[W] |

[그림 11] 역률 1인 경우 파형 및 실험값

[표 2] 역률 1, 저항 부하(400W)

| 분산전원 용량 | 선로임피던스 (Ω) | 전원측 측정지점 전압 (V) | | 부하측 측정지점 전압 (V) | |
|---------------------|------------|-----------------|-----|-----------------|-------|
| | | 이론치 | 실측치 | 이론치 | 실측치 |
| OKW | 0+j2 | 220.80 | | 220.800 | 219.5 |
| | 1+j2 | 220.70 | | 218.888 | 217.8 |
| | 2+j2 | 220.90 | | 217.278 | 216.1 |
| | 5+j2 | 220.40 | | 211.326 | 210.1 |
| 300W (DC 300V, 1A) | 0+j2 | 221.70 | | 221.700 | 221.6 |
| | 1+j2 | 221.00 | | 220.548 | 220.7 |
| | 2+j2 | 221.90 | | 220.999 | 220.9 |
| 1200W (DC 300V, 4A) | 5+j2 | 222.60 | | 220.354 | 219.5 |
| | 0+j2 | 221.60 | | 221.600 | 223.3 |
| | 1+j2 | 221.20 | | 224.817 | 226.1 |
| | 2+j2 | 221.30 | | 228.530 | 229.2 |
| | 5+j2 | 220.90 | | 239.008 | 236.7 |

(2) 지상역률일 경우

지상역률 0.91(부하=400[W]/180[var], 선로임피던스=1+j2[Ω], 분산전원=1,200[W])인 경우 시험결과는 그림 12와 같다. 표 3의 이론값과 실험값이 거의 일치함을 확인 할 수 있었다.

| 이론치 | | | |
|---------|---------|-------|---------|
| 입력전압[V] | 임피던스[Ω] | 전류[A] | 출력전압[V] |
| 222.2 | -0.536 | 3.689 | 224.177 |

| 결과치 | | |
|----------|----------|--------------------|
| 전원측 전압 | 부하측 전압 | 실험값 |
| | | 측정 1회[V] 225 |
| 222.9[V] | 225.2[V] | 측정 2회[V] 225.3 |
| 전류 | 전력 | 측정 3회[V] 225.2 |
| | | 평균 값[V] 225.167 |
| 3.645[A] | 0.821[W] | |

[그림 12] 지상역률 0.91인 경우 파형 및 실험값

[표 3] 지상역률인 경우 분석결과

| 분산전원 용량 | 선로 임피던스(Ω) | 전원측 측정지점 전압(V) | | 부하측 측정지점 전압(V) | |
|---------------------|------------|----------------|-----|----------------|-------|
| | | 이론치 | 실측치 | 이론치 | 실측치 |
| OKW | 0+j2 | 219.90 | | 218.354 | 215.7 |
| | 1+j2 | 220.00 | | 216.441 | 213.8 |
| | 2+j2 | 220.00 | | 214.834 | 212.2 |
| 300W (DC 300V, 1A) | 5+j2 | 220.10 | | 208.876 | 207.1 |
| | 0+j2 | 221.90 | | 219.264 | 218.4 |
| | 1+j2 | 221.70 | | 218.104 | 217.4 |
| 1200W (DC 300V, 4A) | 2+j2 | 221.60 | | 218.565 | 216.6 |
| | 5+j2 | 221.70 | | 217.928 | 215.5 |
| | 0+j2 | 221.30 | | 219.163 | 220.3 |
| | 1+j2 | 221.10 | | 222.375 | 222.3 |
| | 2+j2 | 220.80 | | 226.090 | 224.7 |
| | 5+j2 | 220.90 | | 236.563 | 231.4 |

(3) 진상 역률일 경우

진상역률 0.91(부하=400[W]/180[var], 선로임피던스=1+j2[Ω], 분산전원=1,200[W])인 경우의 결과는 그림 13과 같고, 표 4와 같이 이론값과 실험값이 거의 일치함을 확인 할 수 있었다.

2.2.2 종합분석

본 연구에서는 기존의 배전계통 시스템에 분산전원이 연계되어 투입될 경우 발생 할 수 있는 문제점을 분석하기 위해서 감시제어 장치인 Auto Base를 이용하여 배전계통 모의시험 장치를 감시 및 제어하는 시스템을 구축하고 Auto Base실행 방법 및 특징에 대한 설명을 통해 감시 제어 장치의 특성을 확인하였다. 또한 Auto Base를 이용한 분석을 통해 정상상태 시 선로의 길이가 길어질수록 임피던스가

커져 분산전원의 영향도 많이 받게되어 분산전원 투입 시 더 많은 전압변동을 확인할 수 있었고 분산전원의 용량에 의한 전압변동을 확인 할 수 있었다.

| 이론치 | | | |
|---------|---------|-------|---------|
| 입력전압[V] | 임피던스[Ω] | 전류[A] | 출력전압[V] |
| 224 | -1.416 | 3.659 | 229.181 |

| 결과치 | | |
|----------|----------|-------------------|
| 전원측 전압 | 부하측 전압 | 실험값 |
| | | 측정 1회[V] 226 |
| 224[V] | 226.3[V] | 측정 2회[V] 226.5 |
| 전류 | 전력 | 측정 3회[V] 226.4 |
| | | 평균 값[V] 226.3 |
| 3.670[A] | 0.827[W] | |

[그림 13] 진상역률 0.91인 경우 파형 및 실험값

[표 4] 진상역률인 경우 분석결과

| 분산전원용량 | 선로 임피던스(Ω) | 전원측 측정지점 전압(V) | | 부하측 측정지점 전압(V) | |
|---------------------|------------|----------------|-----|----------------|-------|
| | | 이론치 | 실측치 | 이론치 | 실측치 |
| OKW | 0+j2 | 221.40 | | 223.839 | 223.6 |
| | 1+j2 | 221.60 | | 222.232 | 221.6 |
| | 2+j2 | 221.50 | | 220.326 | 219.9 |
| | 5+j2 | 221.80 | | 215.217 | 214.8 |
| 300W (DC 300V, 1A) | 0+j2 | 222.10 | | 224.531 | 225.2 |
| | 1+j2 | 222.40 | | 224.378 | 225.0 |
| | 2+j2 | 222.40 | | 223.929 | 224.2 |
| 1200W (DC 300V, 4A) | 5+j2 | 222.70 | | 222.880 | 222.8 |
| | 0+j2 | 221.30 | | 223.740 | 225.2 |
| | 1+j2 | 221.10 | | 227.161 | 228.9 |
| | 2+j2 | 221.20 | | 230.875 | 231.6 |
| | 5+j2 | 221.20 | | 241.724 | 239.7 |

3. 결론

본 논문에서는 분산전원(태양광)이 연계된 배전계통에서의 정상 상태 시에 전압 특성을 해석하기 위해 실 계통을 축소 모의하였으며 감시 제어 장치인 AUTO BASE를 이용, 상세한 해석을 수행하여 각종 파라미터를 분석하였다. 실제 모의실험을 통한 분산전원의 도입 시 발생 할 수 있는 문제점을 배전계통에 분산전원 투입하여 정상상태시의 전압 특성실험을 통해 분석하였으며 모의 선로의 임피던스가 커질수록 즉, 직하 부분보다 말단으로 갈수록 임피던스에 의한 전압 강하나 전압 상승이 더 크게 발생함을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

[1] 노 대석 외 3인, "PSCAD/EMTDC에 의한 분산전원용 계통연계 시뮬레이터의 설계 및 분석", 한국산학기술학회 춘계학술발표논문집, 2009.11