

태양광전원의 연계에 의한 보호협조 기기의 운용특성에 관한 연구

김병기*, 이범태*, 송석환*, 김선영*, 김찬혁**, 노대석*
한국기술교육대학교*, 한국전기산업연구원**
e-mail: dsrho@kut.ac.kr

A Study on Protection Coordination Characteristics for PV Systems on the Emergency Operation in Distribution Systems

Byungki Kim*, Beomtae Lee*, Sukhwan Song*, Sunyoung Kim*,
Daeseok Rho*
Korea University of Technology and Education*
Electrical Industry Research Institute of Korean**

요 약

현재 정부는 국가차원의 녹색성장에 따른 신재생에너지의 확대보급 활성화 방안에 따라 지자체와 발전사업자 등의 분산전원 도입계획은 많은 반면, 아직 국내에는 분산전원의 연계에 따라 문제점으로 지적되는 사고전류의 증가, 보호협조의 문제 등 분산전원의 도입 시 배전계통에 끼치는 영향과 문제점에 대한 구체적인 분석이 필요한 실정이다. 본 논문에서는 배전계통 모의실험 장치 및 분산전원 모의실험 장치를 구성하여 분산전원에 의한 비상사고 시 계통의 전류변동을 계전장치 VIPAM3000을 통해 사고 상태에 대한 전류특성을 연구 하여 이에 대한 해결책을 제시 하였다.

1. 서론

2000년 이후 점차적으로 대용량 분산전원의 도입에 의한 많은 기술 등이 필요해지고 있다. 이 중 분산전원에 의한 수용가의 부하 사용 변화에 따라 계통의 역 조류 발생에 의하여 보호기기의 오동작 및 부동작 이 발생되고 있으며, 이에 대한 해결방안이 시급하게 요구되고 있는 실정이다. 우리나라에서는 분산전원의 도입 시 배전계통에 끼치는 영향과 문제점에 대한 구체적인 분석과 평가가 없이 분산전원의 도입과 운용이 이루어지고 있어서 배전계통에 전압관리나 전력품질 등의 계통 운용상의 문제점이 야기될 가능성이 높아지고 있으므로 본 논문에서 계통의 단락 사고 시 나타나는 유형을 모델링하여 구간별 고장 전류의 계산 및 계전기 특성에 따른 역 조류 해석을 위한 방법을 제시하고자 한다.

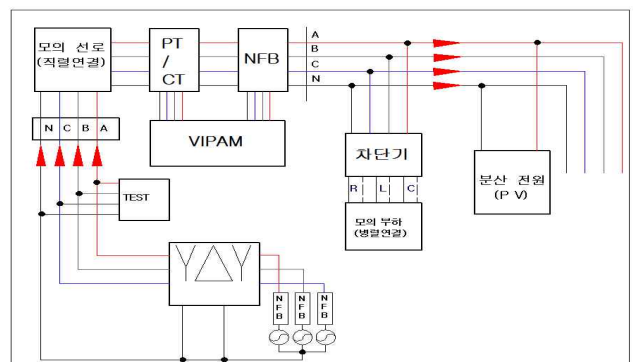
2. 본론

2.1 태양광발전의 계통연계 시험장치 구성

사고해석을 위한 태양광 발전용 계통 연계 실험 장치는 크게 배전계통 모의장치와 분산전원 모의장치, 보호협조를 위한 디지털 보호계전기로 나누어진다.

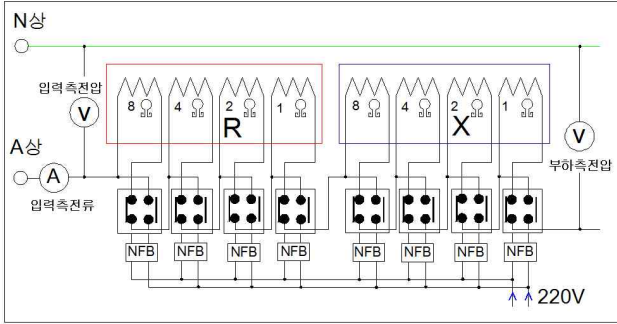
2.1.1 모의 배전계통 시험장치

그림 1과 같이 본 연구에서 제작한 배전계통 모의 시험장치는 계통에 분산전원 투입 시 사고상태, 정상상태 및 전력품질 등에 대한 신에너지원의 특성을 시험하고 분석할 수 있는 장치이다. 본 모의 장치는 배전용 변전소 (154/22.9KV)와 3상 4선식 22.9KV 고압배전선로와 부하를 1/100로 모의 하였으며 선로의 임피던스와 부하의 용량의 가변을 통해 실 계통과 동일한 상태로 모의 할 수 있도록 하였다. 실제 분산전원 투입 시 계통에서의 사고 상태의 해석을 위한 시험을 수행 할수 있도록 그림 1과 같이 시험장치를 제작하였으며, 그림 2와 그림 3을 통해 모의 선로 및 부하를 가변 할 수 있도록 하였다.

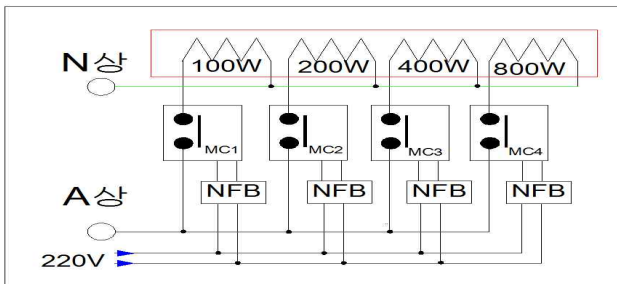


[그림 1] 배전계통 모의장치

모의선로(R+jX)는 [그림 2] 와 같이 임피던스 조정이 가능하도록 MC조합하여 1[Ω]단위로 1~15[Ω] 조절 가능한 장치를 제작하였고, 모의부하는[그림 3] 과 같이 종류별로(저항, 리액터, 콘덴서) 모의하여 부하의 용량을 조절할 수 있도록 MC로 조합하여 저항은 100[W]단위로 100~1500[W] 범위로 조절이 가능하도록 하였다.



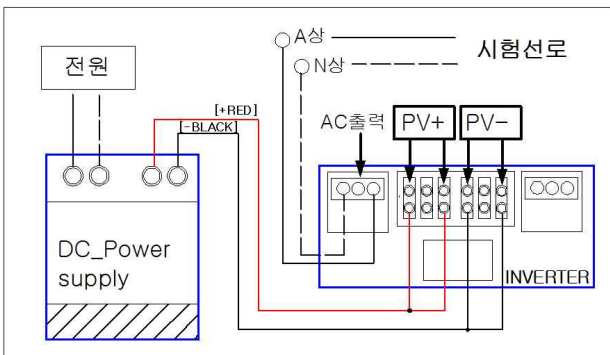
[그림 2] 모의선로의 구성도



[그림 3] 모의부하의 구성도

2.1.2 태양광전원 모의 시험장치

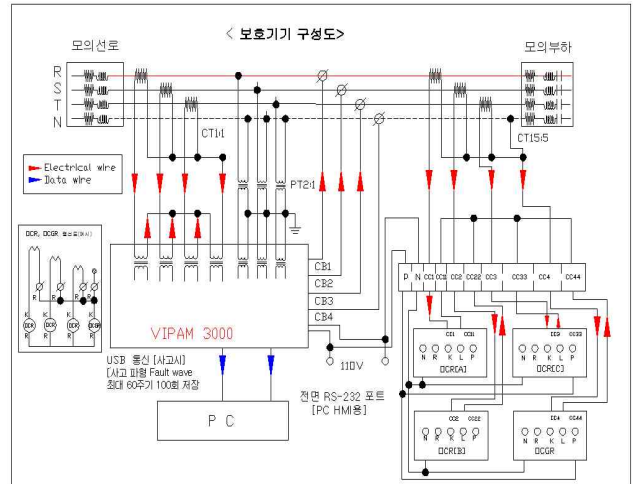
분산전원(태양광 발전)은 그림 4와 같이 계통연계용 인버터(3KVA)와 DC Power Supply(1,200W)의 출력 전류를 가변 하여 분산전원의 출력량을 조절하도록 구성하였다. DC Power Supply의 출력범위는 전압400[V] × 전류3[A]이며 300~1,200[W]까지 조절이 가능하다. 인버터에서 나온 출력은 배전계통 모의장치에 연계되어 전력을 공급한다.



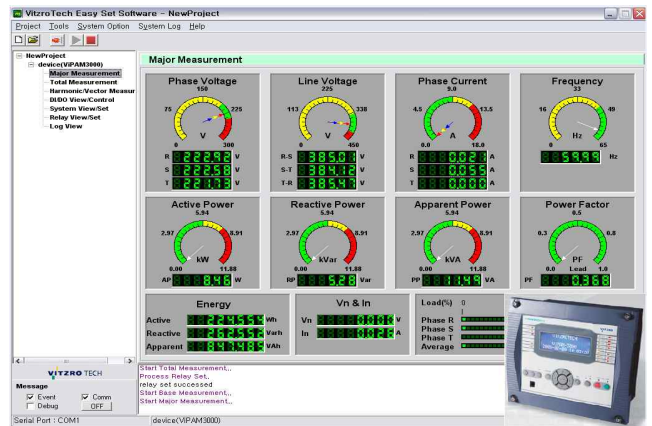
[그림 4] 분산전원 모의장치 구성도

2.1.3 보호협조 시험장치 구성

본 연구에서 이용한 VIPAM 3000은 보호협조 특성 시험을 위한 보호계전요소로서, 수·배전 전력설비에 대한 고 정밀 계측과 보호계전을 제공하는 디지털 복합계전기이다. 컴퓨터를 통해 실시간 제어 및 계전과 계측을 할 수 있도록 그림 5와 같이 구성하였으며, 그림 6은 VIPAM3000의 전용 Software인 HMI를 이용하여 화면을 구성한 것이다.



[그림 5] 보호협조 시험장치 구성도

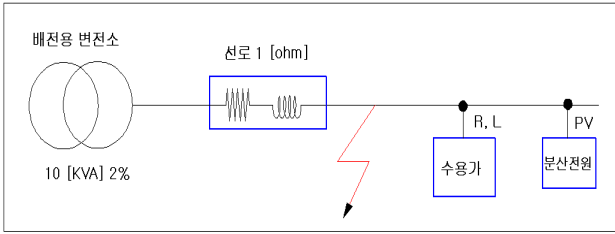


[그림 6] VIPAM 3000 Software 및 단상 화면

2.2 사고상태 시 계통연계특성 시험 및 분석

2.2.1 보호협조 특성시험 조건

그림 7과 같이, 분산전원 모의시험 장치에 대한 실제의 단락사고 시에 공급되는 배전계통과 분산전원의 단락 전류를 계산하면 약 32.1[A]가 된다. 실제로 이러한 사고전류를 발생시키기 어려워, 본 연구에서는 보호계전기의 정정치를 낮게 설정하여, 사고전류가 발생한 것처럼 단락 사고 전류에 대한 OCR Trip시간을 모의하여 계전기 동작 특성시험을 수행하도록 하였다.



[그림 7] 태양광 시험장치의 단락사고 개념도

단락 사고 시 전류 정정치의 배수의 값을 구하기 위하여 VIPAM의 PT와 CT 비율을 다음과 같이 설정하였다.

$$PT(2:1): V_n = 110 [V] \quad CT(1:1): I_n = 1 [A]$$

즉, 계통의 단락전류를 10:1의 비율로 계통과 분산전원의 연계에 따른 단락 전류로 인한 사고 시 표1 과 같이 계전기 동작특성에 대하여 시험을 수행하였다

[표 1] 계전기 OCR의 반환시 특성

IEC Standard Inverse Chart			
I/lpu	Lever [Multiplier]	T (Operation time in seconds)	$T = M \times \left[\frac{K}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^\alpha - 1} + C \right]$
1.50	0.860		
2.00	0.501	정 반환시(IEC SI)	일정한 시간을 기준으로 일정 값 이상을 초과하면 그 초과된 값에 의하여 짧은 시간에 동작
3.00	0.315	lpu	setting 전류 (Pick up 전류)
4.00	0.249	분산전원과 용량10[KVA] 변전 설비의 단락전류 32.1[A]에 의한 T[S]	
5.00	0.214	$T = 0.05 \times \left[\frac{0.140}{\left(\frac{32.1}{1}\right)^{0.020} - 1} + 0 \right] = 0.098(\text{sec})$	
6.00	0.192		
7.00	0.176		

2.2.2 사고 시험 구성

그림 8과 같이 사고 시험은 분산전원 모의 시험장치를 이용하여 실험 및 분석을 실시하였으며, VIPAM 3000인 디지털 계전기의 CT비를 1:1로 설정하여 Trip 전류를 1[A]로 설정한 후, 모의 선로의 모의 부하의 용량의 가변으로 사고(단락)전류를 비율적으로 모의하여 시험하였다.



[그림 8] 사고시험 순서도

2.2.3 사고 상태 시 계통연계특성 시험

그림 9는 사고 시 순조류 일 경우 모의 시험을 통한 분석 데이터이다. 태양광 전원이 300W이고, 부하용량이 900W일 때, CT의 1차 측 전류정정치 1[A]를 기준으로 단락전류를 2.7배로 하여 사고를 모의한 결과를 분석한 것이다.

이론치			
I [A]	I / Ipu	P [W]	Trip [s]
600[W] ÷ 220[V] = 2.72[A]	2.7배	900[W]-300[W] =600	0.346[sec]
결과치			
실험파형		실험값	
전압	전류	[V]	
		151 × 0.707 × 2 = 213.51	
전력	trip	[A]	
		4.8 × 0.707 = 3.39	
		P[W]	Trip[s]
		724.56	0.281

[그림 9] OCR 단락시험 (분산전원300 [W])

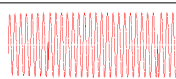
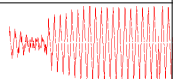

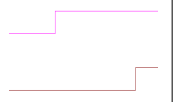
한편, 그림 10은 사고 시 순조류일 경우 모의시험을 통한 분석 데이터이다. 태양광전원 300W, 부하용량 1100W일 때, CT의 1차측 전류정정치 1[A]를 기준으로 단락전류를 3.6배로 하여 사고를 모의한 결과를 분석한 것이다.

이론치			
I [A]	I / Ipu	P [W]	Trip [s]
800[W] ÷ 220[V] = 3.64[A]	3.6 배	1100[W]-300[W] =800[w]	0.267[sec]
결과치			
실험파형		실험값	
전압	전류	[V]	
		145 × 0.707 × 2 = 220.53	
전력	trip	[A]	
		6.4 × 0.707 = 4.53	
		P[W]	Trip[s]
		927.72	0.204

[그림 10] OCR 단락시험 (분산전원300 [W])

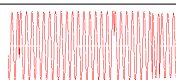
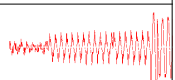

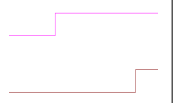
그림 11은 사고시 역조류 발생일 경우 모의 시험을 통한 분석 데이터이다. 태양광 전원 900W, 부하용량 300W로 인한 사고에 의한 역조류(-600W) 발생시 CT의 1차측 전류정정치 1[A]를 기준으로 단락전류를 2.7

배로 하여 사고를 모의한 결과를 분석한 것이다.

이론치			
I [A]	I / Ipu	P [W]	Trip [s]
$-600[W] \div 220[V]$ = -2.73[A]	2.7 배	300[W]-900[W] =-600	0.345[sec]
결과치			
실험과형		실험값	
전압	전류	[V]	
		$165 \times 0.707 \times 2 =$ 233.31	
전력	trip	[A]	
		$3.5 \times 0.707 =$ 3.39	
		P[W]	Trip[s]
		790.92	0.329

[그림 11]OCR 단락시험 (분산전원900 [W])

그림 12는 사고시 역조류 발생일 경우 모의 시험을 통한 분석 데이터 이다. 태양광 전원 1100W ,부하용량 300W로 인한 사고에 의한 역조류(-900W) 발생시 CT의 1차측 전류정정치 1[A]를 기준으로 단락전류를 4.1배로 하여 사고를 모의한 실험이다.

이론치			
I [A]	I / Ipu	P [W]	Trip [s]
$-900[W] \div 220[V]$ = -4.1[A]	4.1 배	300[W]-1,200[W] =-900	0.244[sec]
결과치			
실험과형		실험값	
전압	전류	[V]	
		$167 \times 0.707 \times 2 =$ 226.24	
전력	trip	[A]	
		$4.5 \times 0.707 =$ 3.18	
		P[W]	Trip[s]
		751.27	0.302

[그림 12] OCR 단락시험 (분산전원1200 [W])

2.2.4 종합분석

분산전원 연계를 통하여 단락 사고 시 분산전원의 용량에 의한 전류의 변동을 확인하였으며, 실험 시 단락 전류 크기에 의한 반한 시 계전기의 차단시간으로 인한 사고 상태에서의 분산전원의 용량에 의한 계전기 Trip 시간의 차이를 통한 Multiplier setting(Lever)의 변화가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 그리고 표 2의 실험 데이터를 통해 분산전원의 용량이 클수록 OCR의 반한 시 특성에 대해 Trip 시간의 특성을 확인 할 수 있었으며, 역 조류 시 OCR의 Trip시간의 Delay를 확인 할 수

있었다. 또한 분산 전원에 의한 계통에서의 OCR의 동작확인을 통해 분산전원의 용량에 따른 단락 사고 시 OCR 반한시 동작의 Trip 시간 Delay로 인한 문제점을 확인 할 수 있었다.

[표 2] 측정치와 시뮬레이션 결과의 비교값

OCR Pick-up [A]	분산전원 용량 [W]	부하가변 [W]	전압 및 전류 사고파형분석(실효치)				
			V [V]	I [A]	P [W]	Trip [s] 이론치	Trip [s] 실험치
1.0	0	300	217	1.63	354.94	1.135	> 1
1.0	0	900	207.86	4.52	936.52	0.244	0.212
1.0	0	1100	205.03	5.44	1115	0.214	0.188
1.0	300	900	213.51	3.39	724.56	0.346	0.281
1.0	300	1100	205.03	4.53	927.72	0.267	0.204
1.0	900	300	233.31	3.39	790.92	0.345	0.329
1.0	1200	300	236.14	3.18	751.27	0.244	0.302

3. 결론

본 논문에서는 분산전원(태양광)이 연계된 배전계통에서의 사고 상태를 해석하기 위해, 실 계통을 축소 모의하여 제작한 분산전원 연계 시험장치에 보호협조를 위한 디지털 보호계전기(VIPAM3000)를 추가하여, 보호협조에 대한 상세한 해석을 수행하여, 각종 파라미터를 분석하였다. 실제 모의실험을 통하여, 분산(태양광)전원의 연계 시 기존의 보호기기(OCR)의 반한시 특성에 의한 Trip시간이 계통의 사고 시 차단시간에 문제가 될 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 노 대석 외 3인 , “PSCAD/EMTDC에 의한 분산전원용 계통연계 시뮬레이터의 설계 및 분석”, 한국산학기술학회 추계학술발표논문집, 2009.11