

# 신 에너지전원이 연계된 배전계통의 통합 보호기기의 알고리즘 개발에 관한 연구

윤기갑<sup>1</sup>, 강대훈<sup>2</sup>, 노대석<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>한전전력연구원, <sup>2</sup>비츠로테크, <sup>3</sup>한국기술교육대 정보기술공학부

## A Study on the Algorithm for Multi-Functional Protection Devices in Distribution Systems with New Energy Sources

Yoon, Gigab<sup>1</sup>, Kang, Daehoon<sup>2</sup> and Rho, Daeseok<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>KEPRI, <sup>2</sup>Bitro-Tek,

<sup>3</sup>Dep. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

**요약** 본 논문에서는 태양광과 풍력, 연료전지 등의 신 에너지전원(또는 분산전원)이 연계된 배전계통에 있어서 발생 가능한 보호협조의 문제점을 해결하기 위한 통합 보호기기의 알고리즘을 제시한다. 신 에너지전원을 배전계통에 연계함으로써 에너지 효율을 높일 수 있으며, 송배전 선로 건설비용의 절감, 전력 손실 감소, 전압 보상 및 전력 공급의 신뢰도 향상과 같은 많은 장점을 얻을 수 있다. 이러한 많은 장점에도 불구하고 신 에너지전원을 배전 계통에 연계하였을 경우, 전압변동, 고조파, 전력 품질 저하, 단락 용량 증대와 같은 많은 문제점도 발생하여, 이러한 문제점을 해결하기 위한 계통연계 장치 및 보호기기의 필요성이 증대하고 있는 실정이다. 즉, 현재의 배전계통 보호 방식은 단방향 조류방식으로 구성되어 있으나 분산전원의 도입으로 보호 기기가 설치되어 있는 계통에 정상상태임에도 불구하고 역방향의 전력조류가 발생될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이에 대한 새로운 배전 보호 알고리즘을 탑재한 보호기기의 알고리즘을 제시한다.

**Abstract** The typical distribution systems have the power flow from distribution substations (sources) to customers (load) only as one direction. However, in the case where new energy power sources are connected to distribution systems, the output variations of new energy sources to distribution systems, which is so called reverse power flow, may cause the bi-directional power flow. So, the reverse power flow has severe impacts on typical power system, for example power quality problems, protection coordination problems, and so on. Therefore, this paper proposes the algorithm for Multi-functional protection devices in distribution systems in the case where new energy sources are interconnected. The proposed algorithm is verified to show the effectiveness by simulating and experimenting the prototype systems.

**Key Words** : Distribution System, New energy sources, Protection devices, Protection algorithm

### 1. 서론

미국, 일본, 유럽에서는 태양광발전, 풍력 등과 같은 신 에너지전원의 보급확진을 목적으로서, 보조금제도 등의 경제적 제도의 정비와 더불어 계통연계기술조건 등의 기술적 측면에도 가이드라인의 정비를 꾀하고 있다. 공통된 특징으로서는, 대상전원을 신 에너지전원에 국한시키

는 나라는 없고, 소수력 및 열병합 등 분산전원 전체를 대상전원으로 하고 있다. 오히려, 분산전원에 대해, 경험 이 풍부한 기존의 소수력 등에 적용되고 있던 기술조건을 개정 또는 추가한 형태의 규정을 적용하고 있는 실정이다. 반면, 국내에서는 한전을 중심으로 태양광 발전시스템의 계통연계 전력변환 제어기술 개발, 성능평가, 실증시험을 통한 계통연계 보호협조 및 운영기술을 확립하

\*교신저자 : 윤기갑(ykk@kepri.re.kr)

접수일 09년 05월 20일

수정일 (1차 09년 08월 12일, 2차 09년 08월 20일)

게재확정일 09년 09월 16일

여 분산전원으로서 태양광 발전시스템이 계통 도입에 대비한 제반 기술 개발에 주력하고 있으며, 향후 분산형 전원으로서 다수의 태양광 발전시스템이 계통도입에 따른 현황 분석과 운영기법 확립 및 전력변환 효율 향상 등에 대한 기술개발을 할 예정이다. 따라서 기존 배전계통의 보호 장치 시장을 기초로 하여 국내 배전계통에 적합한 신 에너지전원(분산전원) 연계용 배전계통의 통합형 보호기기의 개발이 필수적이다[1-5].

상기와 같은 배경으로 분산전원 배전계통 연계에 따른 통합형 보호기기를 개발할 필요가 있다. 통합형 보호기기는 분산전원 단독운전 시 한전과 분산전원의 양방향 전원 충돌을 방지할 수 있는 지능형 자동재폐로 Lockout 기능을 가져야 하고, 양방향 정보를 인식하고 처리할 수 있는 전류, 전압 변환장치 (CT)가 필요하다. 또한, 양방향 보호기기를 활용할 수 있는 보호협조 알고리즘과 정정치 계산 알고리즘이 요구된다[6,7].

따라서 본 논문에서는 2장에서 통합형 보호기기의 사고위치별 보호협조 알고리즘을 제시하고, 3장에서는 보호기기 실증시험설비의 프로토타입(Prototype)을 제작하며, 4장에서는 시뮬레이션과 시험을 통하여 제안한 보호기기의 알고리즘의 유용성을 제시한다.

## 2. 통합형 보호기기 알고리즘 개발

### 2.1 통합형 보호기기의 필요성

#### (1) 통합 보호기기의 개념

분산전원의 연계란 기존의 대단위 발전설비에서 전력의 수요지까지 전력을 송전하는 방식과는 다르게 전력수용가 근처에서 소규모로 발전하여 전력회사의 전력계통에 연계하여 병렬운전을 실시하는 것을 의미한다. 연계 보호 장치란 분산전원과 상용 계통의 연계지점에서 상용전원 측에서 발생한 고장으로부터 분산전원을 보호하며 반대로 분산전원의 비정상적인 동작에 대하여 상용계통 및 수용가를 보호하기 위하여 동작하는 보호 장치를 의미한다. 연계 보호 장치 동작은 분산전원이 연계된 계통에서 분산전원과 상용전원을 동시에 보호해야 한다 [8-12].

#### (2) 통합 보호기기의 기능

국내의 경우 분산전원의 도입을 시작하는 초창기로서 최근에 이르러서 풍력 발전을 위주로 분산전원 연계 보호 계전기의 연구가 활발하게 시작되었다. 현 시점을 기준으로 국내의 경우 분산전원 연계용 전용 디지털 보호

계전기 연구에 투자하여 생산을 준비 중에 있으며, 기존의 보호 방식은 단일 계전요소를 가진 계전기들을 조합하여 연계지점에 설치하여 계통을 보호하고 있는 실정이다. 국외의 경우 분산전원의 보급률이 국내와 비교하여 상당한 수준에 이르러 있고 이와 비례하여 계통 연계에 대한 연구와 실제 상품화 되어 적용되고 있는 디지털 보호 계전기보호 기기도 많이 보급되어 있다. 이러한 연계용 보호 계전기는 다양한 연계 조건과 분산전원의 종류에 따라 서로 각기 다른 알고리즘들을 내장하고 있다. 표 1에서는 외국에서 제작되고 있는 분산전원 연계용 보호 계전기의 기능을 비교하여 도표화하였다[6,8].

[표 2] 통합형 보호기기의 기능 비교

계 전 기 능	MITSUB	BASL	BECK
	ISHI	ER	WITH
	MODEL	CPP1	BE1-IP S100
Nationality	Japan	USA	USA
Over Current Relay		√	√
Over Current Ground Relay		√	√
Over Voltage Relay	√	√	√
Over Voltage Ground Relay	√	√	√
Under Voltage Relay	√	√	√
Selective Ground Relay		√	√
Directional Ground Relay		√	
Directional Over Current Relay		√	
Negative Sequence Over Current Relay		√	√
Negative Sequence Over Voltage Relay			√
Over Frequency Relay	√	√	√
Under Frequency Relay	√	√	√
Reverse Power Relay	√	√	√
Over Power Relay		√	√
Under Power Relay	√	√	√
Operating Lock	√		
df/dt	√	√	
dv/df		√	√
Breaker Failure		√	
Sync check		√	√
Auto-Reclosing			√

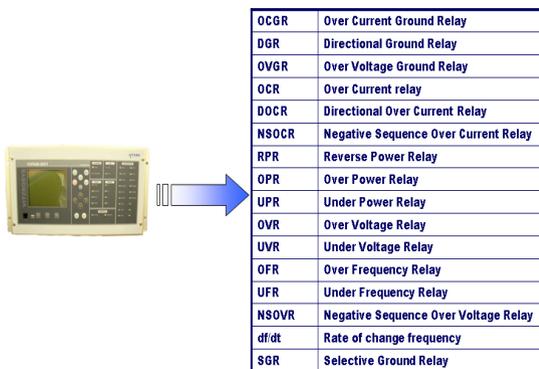
### 2.2 통합형 보호기기의 알고리즘

분산전원의 연계보호란 분산전원과 상용 계통의 연계 지점에서 상용전원 측에서 발생한 고장으로부터 분산전원을 보호하며, 반대로 분산전원의 비정상적인 동작에 대하여 상용 계통을 보호하는 것을 의미한다. 이런 양방향의 보호를 위하여 기존의 개별 알고리즘으로는 충분한 보호가 불가능하다. 또한 분산전원의 단독운전 발생 시

이를 즉시 검출하여 상용계통에서 분리하여야 한다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 분산전원이 연계된 위치와 사고위치별 보호기기의 보호협조 알고리즘을 제시하였다. 알고리즘에서 고려해야할 필수적인 사항은 다음과 같이 5개의 요소로 나타낼 수 있다.

- (1) 분산전원 측 내부사고시, 사고여파가 수용가와 상용계통에 영향을 주지 않도록 발전설비를 즉시 상용계통으로 분리하여야 한다.
- (2) 분산전원과 연계된 상용계통 사고 시, 사고 여파가 분산전원 설비에 영향을 주지 않도록 즉시 상용계통과 분산전원 설비를 분리하여야 한다.
- (3) 분산전원과 연계된 상용계통 이외의 사고 시, 분산전원을 상용 계통에서 분리되지 않도록 하여야 한다.
- (4) 상용 계통의 상위 계통사고 및 기타의 이유로 분산전원과 연계된 계통의 전원이 상실되었을 경우 분산전원이 단독으로 운전하지 않도록 계통에서 고속으로 분리하여야 한다.
- (5) 분산전원과 연계된 상용계통의 재폐로 수행 시, 분산전원은 신속하게 상용계통에서 분리 되어야 한다.

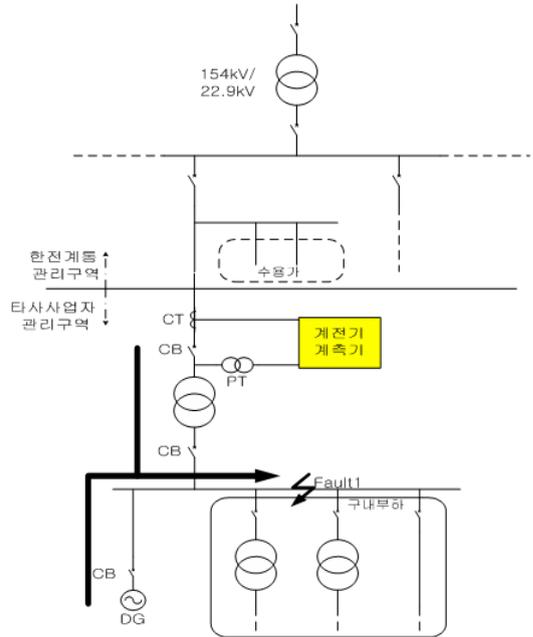
상기의 필수적인 요소를 고려하여, 그림 1과 같이 통합보호기기의 알고리즘을 나타낼 수 있다. 즉, 분산전원의 계통 연계 시, 운전 중에 발생할 수 있는 모든 사고에 대하여 각각의 사고에 대하여 동작 가능한 계전요소를 나타낸 것이다. 여기서 상정한 모의 배전계통은 분산전원의 용량이 구내부하의 부하보다 적을 경우 상용계통에서 추가 전력을 공급받아 운전하는 계통이며, 분산전원의 용량이 구내부하의 부하보다 클 경우 구내부하에 공급하고 남은 전력을 수용가에 공급하는 계통이다.



[그림 1] 통합형 보호기기 알고리즘 구성도

(1) 분산전원 측 내부사고

그림 2는 수용가와 구내부하를 동시에 전력을 공급하는 분산전원 계통에서 내부 사고를 모의하여 나타내고 있다.



[그림 2] 분산전원 측 내부 사고 개념도

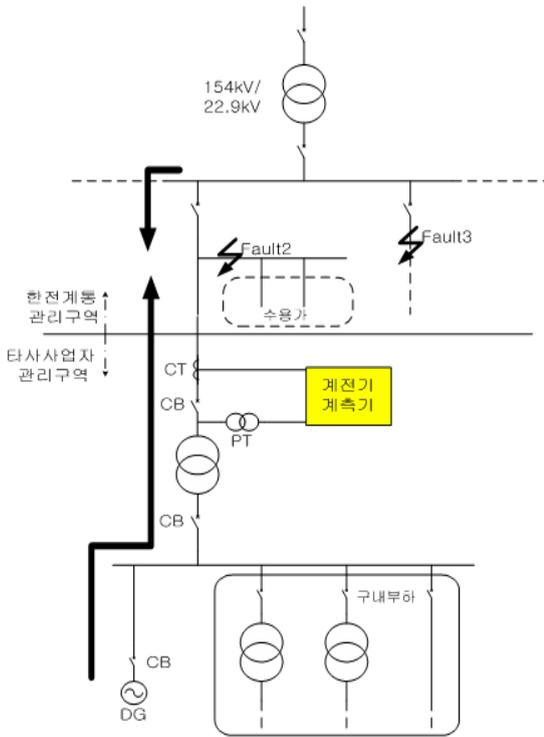
표 2는 그림 2의 계통사고에서 발생할 수 있는 예측 가능한 사고와 관련하여 동작 할 수 있는 계전요소를 도표화한 것이다.

[표 3] 분산전원 내부사고시 동작 계전요소

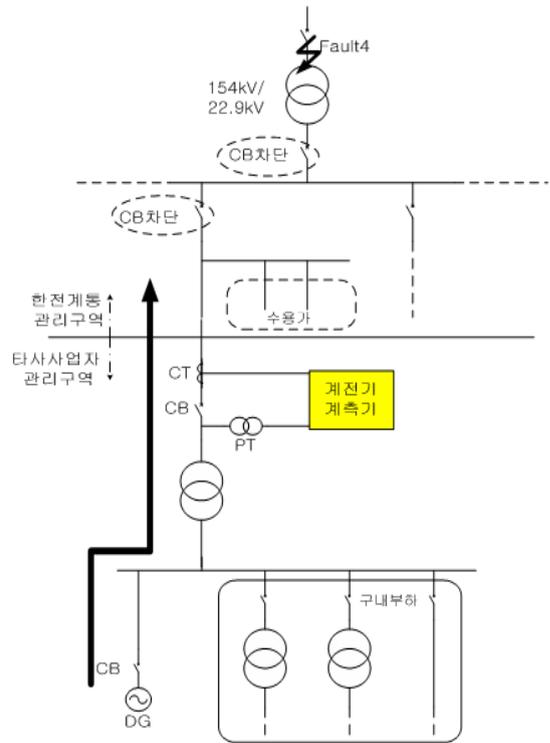
	단락사고	지락사고	신 에너지 전원 측 사고
동작 계전 요소	OCR	OVGR	OVR
	DOCR	OCGR	UVR
	OPR	DSR	OFR
	UVR	UVR	UFR
	NSOCR		

(2) 연계된 한전 계통사고

그림 3과 표 3은 수용가와 구내부하를 동시에 전력을 공급하는 분산전원 계통에서 한전과 연계된 계통 사고와 연계 계통 이외의 사고를 모의하여 나타내고 있다.



[그림 3] 연계된 한전 계통 사고 개념도



[그림 4] 분산전원 단독운전 개념도

[표 4] 분산전원 내부사고시 동작 계전요소

	단락 사고	지락 사고	연계 계통 이외 사고
동작 계전요소	OCR DOCR UVR	OVGR OCGR SGR DSR	부동작

(3) 분산전원의 단독운전

그림 4와 표 4는 수용가와 구내부하를 동시에 전력을 공급하는 분산전원계통에서 분산전원이 단독으로 운전하는 사고를 모의하여 나타내고 있다.

[표 5] 분산전원 내부사고시 동작 계전요소

단독 운전 사고	동작 계전 요소	이의 요소
한전 계통 전원 상실 출력과 부하용량의 불 평형으로 인한 전압 주파수의 변동	OVR UVR OFR UFR RPR	df/dt

(4) 사고별 계전 동작 요소

분산전원이 설치된 계통을 모의하여 계통에서 발생 가능한 여러 가지 사고에 대해 표 5는 각각의 사고와 사고에 따른 동작 계전요소를 비교하였다

[표 6] 사고에 따른 동작 계전 요소 비교

	분산전원 내부사고			연계된 한전계통 사고		연계 계통 이외 사고
	단락	지락	신에너지 전원	단락	지락	
OCGR	√			√		
DSR	√			√		
OVGR	√			√		
OCR	√			√		
DOCR	√			√		
NSOCR	√					
RPR	√				√	
OPR	√					
OVR			√		√	
UVR	√	√	√	√	√	
OFR			√		√	
UFR			√		√	
df/dt					√	
SGR	√			√		

### 3. 통합형 보호기기의 프로토타입 제작

분산전원 연계용 통합형 보호기기를 개발하기 위하여, 실제로 Prototype을 제작하여 알고리즘 동작 상황을 테스트하였다. Main 보드의 경우 각 주기마다 32샘플을 추출하기 위하여, 신호처리 전용인 DSP 칩(TMS32C6713)을 사용하여 연산 처리 능력을 향상시켰다. 또한, 신호의 정밀도를 위하여 16bit Analog to Digital Converter를 사용하여 연산 결과의 정확도를 향상시켰다.

#### 3.1 외부 구성

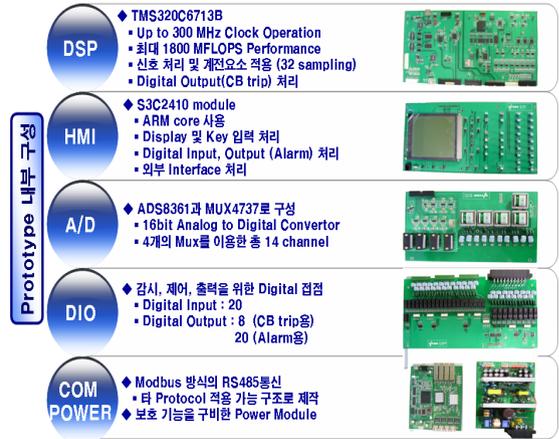
Prototype의 외부 구성과 내부 구성은 제품의 수행 능력과 환경시험을 고려하여 구성하였다. 그림 5는 외부 구성과 특징을 나타내고 있다.



[그림 5] 양방향 보호기기의 외부 구성도

### 3.2 내부 보드 구성

그림 6은 내부 보드 구성과 특징을 나타내고 있다.



[그림 6] Prototype 내부 보드 구성 및 특징

### 4. 통합형 보호기기의 알고리즘 검증 결과 분석

연계 보호 장치에 알고리즘을 코딩하여 test bed를 구성하여 각각의 알고리즘을 테스트 하였다. 3상 전력 발생 장치에 모델링한 데이터를 입력하여 계통에서 발생하는 현상과 유사하게 모의하여 prototype의 알고리즘을 테스트하여 모의된 각종 사고에 대하여 알고리즘이 예측된 시간에 정확하게 동작하는 것을 확인하였다.

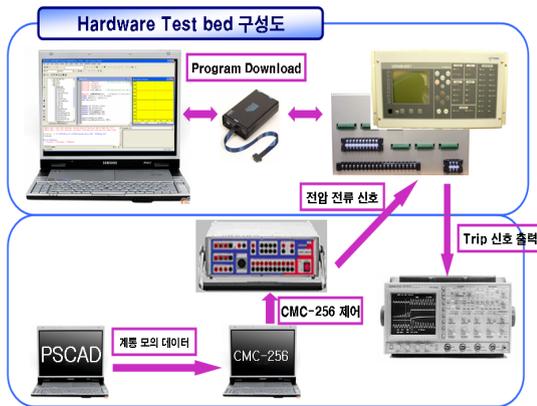
#### 4.1 시험장치(Test bed) 구성

분산전원 연계 계전 알고리즘을 검증하기 위하여, 실제 Prototype을 이용하여 알고리즘의 유용성과 실현 가능성을 증명하였다. 본 논문에서 제작한 양방향 보호기기의 Test bed 구성도는 그림 7과 같다.

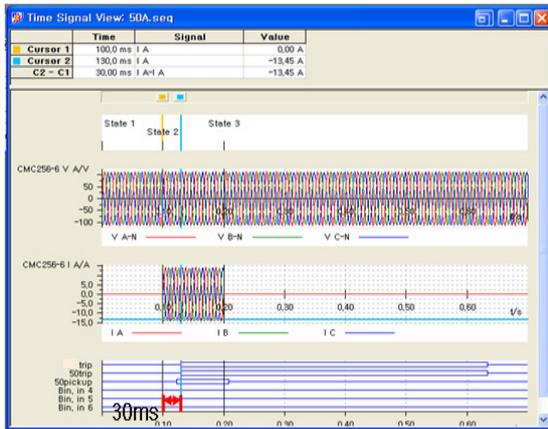
#### 4.2 Prototype을 이용한 분산전원 연계 보호 알고리즘 검증

##### (1) 순시 과전류 동작시간 평가

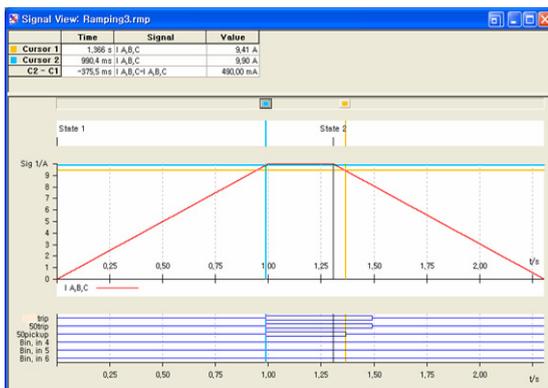
동작치는 10[A]이고, 40[ms] 이내 동작이 요망(한전 기술기준)되는 데, 입력전류 10[A]에 대하여 동작시간이 30[ms]임을 확인할 수 있었다. 그림 8과 그림 9는 과전류 순시 평가를 나타낸 것이다.



[그림 7] 분산전원 연계 계통 보호 장치 알고리즘 검증 시험장치



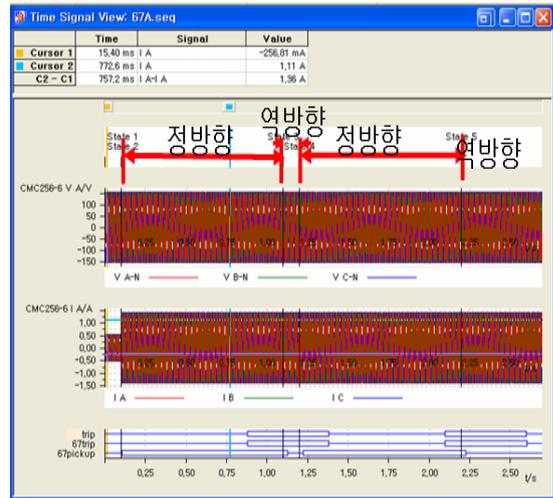
[그림 8] 과전류 순시요소소에 대한 시험 결과



[그림 9] 과전류 순시 동작치/복귀치 요소에 대한 시험 결과

(2) 방향성 동작시간 평가

그림 10은 역방향일 경우 동작하지 않은 시험 결과를 나타낸 것이다.



[그림 10] 방향성 과전류 시험 결과

(3) 통합 계전요소 검증 결과 분석

분산전원 연계용 보호기기의 알고리즘을 통하여 하기의 계전요소를 구현하였으며, 구현된 계전요소에 대한 검증 테스트를 진행한 항목 및 결과는 표 5와 같다. 이 표에서 알 수 있듯이 보호기기의 알고리즘이 한전의 기술요건을 충족함을 확인할 수 있었다.

[표 5] 계전요소 동작 테스트 항목 및 결과

계전요소	검증 항목	평가 요소	결과	
순시과전류	동작시간 테스트	50[ms]이내 동작	PASS	
순시지락과전류	동작치/복귀치 테스트	동작치 : 정정치의 ±5% 복귀치 : 정정치의 95% 이상에서 확실하게 복귀	PASS	
한시과전류	동작 시간 테스트	정정치 2배 전류인가	공칭동작 시간의 ±5%	PASS
		정정치 7배 전류인가	공칭동작 시간의 ±5%	PASS
		정정치 20배 전류인가	공칭동작 시간의 ±5%	PASS
한시지락과전류	동작치/복귀치 테스트	동작치 : 정정치의 ±5% 복귀치 : 정정치의 95% 이상에서 확실하게 복귀	PASS	
방향성 한시과전류	동작시간 테스트	공칭동작 시간의 ±5%	PASS	
	동작치/복귀치 테스트	동작치 : 정정치의 ±5% 복귀치 : 정정치의 95% 이상에서 확실하게 복귀 복귀위상각 : 동작범위의 ±5°	PASS	
과전압	동작시간 테스트	공칭동작 시간의 ±5%	PASS	

지라과전압 계전요소	동작치/복귀치 테스트	한시과전류와 동일	PASS
저전압 계전요소	동작시간 테스트	공칭동작 시간의 ±5%	PASS
	동작치/복귀치 테스트	정정치의 105%에서 확실히 복귀	PASS
과, 저주파수 계전요소	동작시간 테스트	공칭동작 시간의 ±5%	PASS
	동작치/복귀치 테스트	자체평가 (업체 사양)	PASS
과, 저, 역전력 및 동기검출 계전요소	동작시간 테스트	공칭동작 시간의 ±5%	PASS
	동작치/복귀치 테스트	자체평가 (업체 사양)	PASS
전류 불평형 및 단독운전 방지	동작시간 테스트	공칭동작 시간의 ±5%	PASS
	동작치/복귀치 테스트	자체평가 (업체 사양)	PASS

## 5. 결 론

본 연구에서는 신 에너지전원이 연계된 배전계통의 통합형 보호기기의 알고리즘을 개발하여, 실증시험을 수행하였다. 본 연구에서 제안한 양방향 보호 알고리즘을 실제로 시험할 수 있는 프로토타입(prototype)을 제작하여, 신 에너지전원과 상용전원의 연계를 하나의 계전기에서 더욱 정확하게 사고로부터 보호할 수 있는 것을 확인하였다. 앞으로 실증시험장(한전 고창 신 에너지 실증시험센터)에서 통합형 알고리즘을 탑재한 보호기기를 설치하여, 실 계통에서의 적용 시험을 할 예정이다. 가까운 장래에, 국내의 자체 기술로 개발된 통합형 보호기기를 이용하여, 분산전원이 연계된 배전계통의 양방향 보호협조 문제를 해결할 수 있으리라 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 분산전원 배전계통 연계기술기준, 한국전력공사, 4월, 2005.
- [2] 일본 분산전원 계통연계 기술지침 (사)일본전기협회 2001.
- [3] 일본 전력계통 연계 기술요건 가이드라인 1998.
- [4] 일본 북해도전력 분산전원 연계업무 절차서 및 기술해설서 2002.
- [5] 일본 북해도전력 분산전원 배전계통연계 기술검토시스템 2004.
- [6] 분산전원 도입에 따른 복합배전계통 운영에 관한 연

구, 산업자원부, 8월, 2004.

- [7] 한국전력, “디지털형 보호 계전기”, June, 1996.
- [8] 한국전력, “타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침”, August, 1996.
- [9] IEEE 1547 "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" 7월, 2003.
- [10] IEEE 1547 "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" 7월, 2003.
- [11] IEEE 1547.1 "IEEE Standard conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" 1월, 2005.
- [12] Hadi Saadat, "Power System Analysis", McGraw-Hill, Printed in Singapore, 1999.

## 윤 기 갑(Gi-Gab Yoon)

[정회원]



- 1983년 2월 : 한양대학교 전기공학과(공학사)
- 1988년 8월 : 한양대학교대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1990년 3월 ~ 현재 : 한전 전력연구원

<관심분야>

전력계통, 배전계통, 분산전원 연계, 전력품질해석

## 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 부교수

<관심분야>

전력/배전계통, 분산전원 연계, 전력품질 해석

강 대 훈(Dae-Hun Kang)

[정회원]



- 1997년 2월 : 명지대학교 전기공학과(공학사)
- 1999년 2월 : 명지대학교대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1999년 4월 ~ 현재 : 비츠로테크

<관심분야>

분산전원 연계, 보호기기 제조 및 해석