

저압배전선로에 연계된 분산전원의 과도특성 해석에 관한 연구

윤기갑^{1*}, 노대석², 김의환¹
¹한전전력연구원, ²한국기술교육대 정보기술공학부

Analysis of Transient Characteristics for Distributed Generations with the Secondary Feeders

Gigab Yoon^{1*}, Daeseok Rho² and Eui-Hwan Kim¹

¹KEPRI, ²Information School, Korea University of Technology

요약 본 논문에서는 저압배전계통에 연계되어 있는 분산전원의 과도특성을 해석하기 위하여, 실 계통을 모의하여 구축한 분산전원 실증시험센터의 설비를 이용하여, 순간전압강하, 순간전압상승, 고조파, 순간정전 등 배전계통에서 일어날 수 있는 비정상 상태 요소를 발생시켜, 분산전원의 과도특성을 해석하였다. 본 연구에서 제시한 과도특성에 대한 시험결과에 의하여, 분산전원 계통연계기술기준(가이드라인)에서 정해진 각종 규정에 대하여 저압선로에 연계되어 운용되고 있는 분산전원의 적합여부를 파악할 수 있었어, 본 연구의 유효성을 확인할 수 있었다.

Abstract In order to analyze the transient characteristics for distributed generation located with the secondary feeders, this paper constructs a Distributed Generations Filed Test Center which can produce transient characteristics such as voltage sag, swell, interruption, harmonic and so on. And also this paper proposes the test results for the interconnection of distributed generations. The results show the effectiveness for the utility technical guidelines for distributed generations with the secondary feeders.

Key Words : Distribution System, Protection devices, Protection algorithm, Distributed Generators

1. 서론

최근 지구온난화 및 신재생에너지에 대한 정부의 보급 정책에 따라 태양광 및 풍력발전 등 분산전원의 보급이 증가하고 있다. 이들 분산전원은 종래부터 전력회사가 주로 적용해온 화력이나 원자력발전과는 달리 비교적 소형이고 또한 풍력이나 수력, 태양광등 자연에너지를 이용한 전원이라는 것이 특징이다. 그러나 분산전원을 계통에 연계하여 병렬운전을 할 경우에는 전력품질, 공급신뢰도 등의 면에서 종전에 없었던 기술적과제가 생기게 된다. 이러한 분산형전원은 어떻게든 전력계통에 연계하여 운용해야 하기 때문에 전력계통 연계에 따른 문제점을 보완하고 기존 전력계통에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다[1-4].

배전계통에 분산형전원이 연계되면 역조류가 발생하여 전류의 방향이 기존의 전류흐름과 반대가 되기 때문에 배전선로의 전압강하의 방향도 역으로 되어 인입점에서 전압이 상승하여 적정 전압범위를 벗어날 수가 있다. 적정치를 벗어난 전압변동은 수용가 기기의 오동작이나 파손을 일으킬 가능성이 있다[5-8].

따라서 본 논문에서는 분산전원 연계선로의 분산전원 과도특성과 전력품질을 분석하기 위해 AC전원 모의 장치를 이용하여 저압 배전계통 측에서 순간전압강하(Voltage Sag), 순간전압상승(Voltage swell), 고조파(THD) 주입 등의 배전계통에 일어날 수 있는 비정상 상태를 발생시켜, 분산전원의 과도특성을 분석하여, 그 결과가 분산전원 계통연계 기술기준[9-11]에서 정한 규정치에 적합한가에 대한 기술적인 검토사항을 분석하였다.

*교신저자 : 윤기갑(ykk@kepri.re.kr)

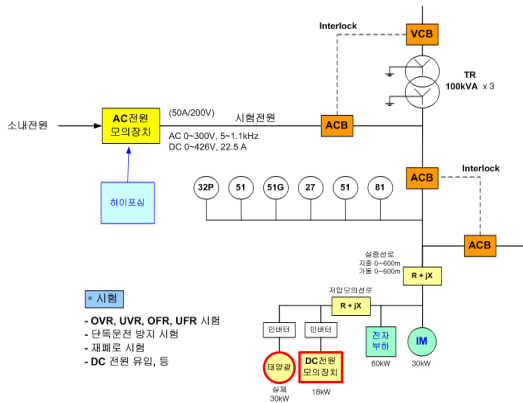
접수일 10년 09월 09일

수정일 10년 10월 06일

게재확정일 10년 10월 15일

2. 분산전원 실증시험센터 구축

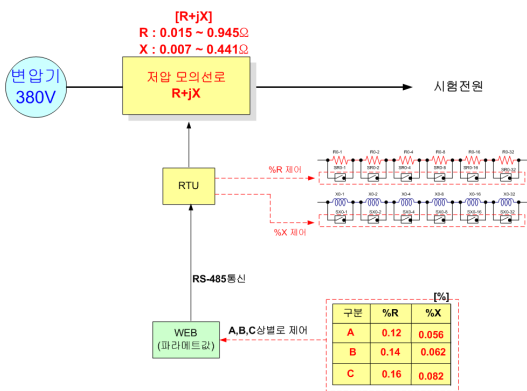
분산전원 실증시험센터는 저압배전계통(모의선로와 부하)과 분산전원장치(태양광전원과 DC모의전원장치), 전력품질발생장치(AC 전원모의장치)로 구성된다. 전체 개요도는 그림 1과 같다.



[그림 1] 분산전원 시험센터 구성도

2.1 저압배전계통

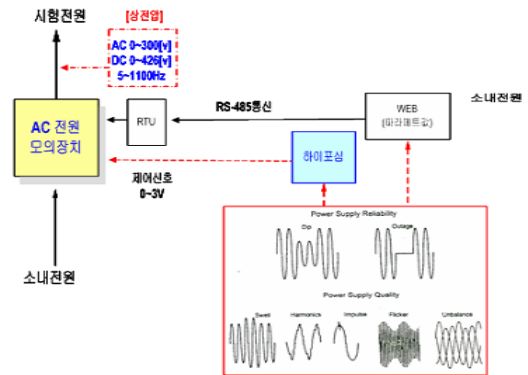
저압배전선로[12]의 전기적 특성을 모의하기 위하여, 그림 2와 같이 실 선로의 단위 길이당 $R+jX$ 값으로 나타내었고, PC에서 파라메트 값만 입력하면 원격으로 자동 제어될 수 있도록 구성하였다. 저항값(R) 및 인덕턴스 값(L)을 모의하기 위하여, 각각의 저항 및 리액터를 직렬로 연결할 수 있는 마그네틱 스위치(래치형)를 설치하고, 모든 조작은 웹상에서 파라메타 값만 입력하면 선로특성에 맞게 자동 설정되도록 구성하였다. 저압모의선로장치의 구성은 저항 32개 1Set, 리액터 32개 1Set, 마그네틱 64대, RTU 제어장치의 옥외용 판넬 8면으로 구성되어 있다.



[그림 2] 저압모의선로 구성

2.2 전력품질발생장치

전력품질발생장치(AC전원모의장치)는 그림 3과 같이, 저압배전선로에서 발생하는 Dip, Outage, Swell, Harmonics, Impulse, Flicker, Unbalance 등을 상별로 구현이 가능하도록 구성되어 있다[13-15]. 시험방법은 저압선로에 연계된 인버터, 및 보호장치에 대해서 Voltage trip point 시험, Frequency trip point 시험, 단독운전 방지 검출시험, 재폐로 시험, DC전원 유입시험 등 계통연계 시험 할 수 있도록 시험선로에 전압을 인가하여 상별로 전압 및 주파수를 조절 할 수 있도록 구성되어 있다. AC전원모의장치는 주파수불변상태에서 전압급변기능을 갖고 있으며, 설정범위는 각각 0.1ms ~ 6s, 6s ~ 60s, 60s ~ 600s가 가능하고 V start level, QC level 형태로 전압급변 시험이 가능하도록 되어 있다. 또한 주파수 변동 상태에서 전압변동 시험을 목표값과 이동시간(Transition time)동안 최대 0~99.9s까지 조절이 가능한 기능을 갖고 있다.



[그림 3] AC전원모의시험장치(36kW)

2.3 태양광발전장치

그림 4와 그림 5는 태양광발전 인버터 및 설비의 구성을 나타내고 있다. 태양광발전설비는 인버터 상호간 미치는 영향 분석을 분석하고, 정격전압 220±13V, 정격전류 150%초과, 전압변동±2% 초과, 주파수변동±0.1Hz 초과, 단독 운전 검출 0.5초 이내, 복전후 5분, 누설전류 5mA, DC유입전류 0.5% 이하 등 인버터 특성과 계통에 미치는 영향을 분석하기 위한 실증 시험설비이다. 태양광설비 구성은 고정형 태양전지(30kW), 계통 연계형 1상 3kW 인버터6대, 3상 12kW 1대로 구성되어 있다.



[그림 4] 태양광발전 시험장치(30kW)

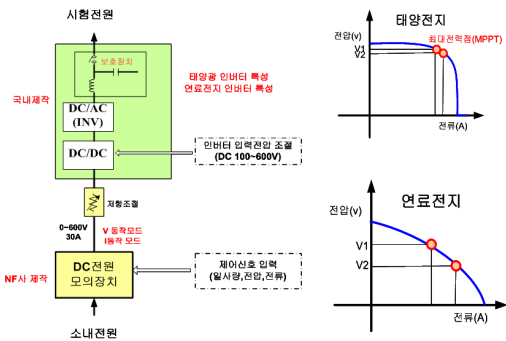


[그림 5] 태양광인버터 (단상 6대, 삼상 1대)

2.4 DC전원모의 시험장치

DC전원모의 시험장치는 그림 6과 같이, 태양광발전 15kW와 연료전지 15kW로 구성되어 있다. DC전원모의 시험장치는 소내전원을 이용하여 DC전원 모의장치에서 태양광전지와 연료전지 모듈특성을 구현하며, 태양광 3상 15kW PCS 인버터와 연료전지용 15kW EPC(Electric Power Conversion)인버터로 구성된다. 계통전원은 3상3선 380V/60Hz, 계통과의 절연은 상용변압기로 절연되어 있다.

DC전원모의장치는 0~600V 제어가 가능하며 용량 15kW, 인버터의 입력전압 150~600V로 구성되어있고 DC전원장치는 태양광 전지셀과 연료전지셀 특성을 고려하여 특성별(VI곡선)구현이 가능하도록 구성되어 있다. DC전원모의장치에 현장에서 측정한 일사량, 수소 및 산소량, 전압, 전류값을 데이터로 변환하여 입력하면 현장과 동일하게 모의가 가능하도록 알고리즘이 구성되어 있다.



[그림 6] DC 전원모의장치 30kW 구성

3. 시험결과 분석

본 연구에서는 AC전원 모의장치를 이용하여 저압배전계통 측에서 순간전압강하(Voltage Sag), 순간전압상승(Voltage swell), 고조파(THD) 주입 등의 배전계통에 일어날 수 있는 비정상 상태를 발생시켜, 분산전원의 과도 특성을 분석하였다[9-11].

3.1 시험조건

(1) 순간전압강하(Voltage Swell)시험

먼저, 연계점 전압의 110% 크기로 120 cycles 동안 발생시키고, 다음에 연계점 전압의 120% 크기로 10 cycles 동안 발생시켜 Swell에 대한 특성시험을 수행하였다.

(2) 순간전압강하(Voltage Sag)시험

연계점 전압의 50% 크기로 10 cycles, 2 cycles 동안 발생시키고, 또한 연계점 전압의 80% 크기로 10 cycles, 60 cycles, 120 cycles 동안 발생시켜 Sag에 대한 특성시험을 수행하였다.

(3) 고조파(THD) 주입시험

중합왜형을 3%(3th 2.4%, 5th 1.5%, 7th : 0.8%, 11th 0.5%)와 중합왜형을 5%(3th 3.3%, 5th 2.5%, 7th : 2.0%, 11th 2.0%)에 대하여 고조파 특성시험을 수행하였다.

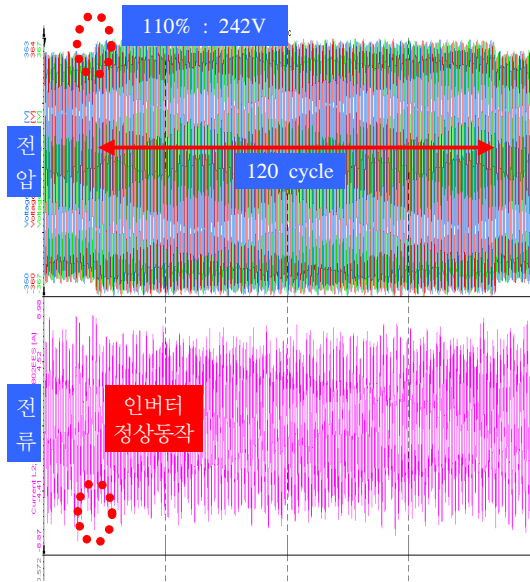
3.2 과도특성 시험분석 결과

3.2.1 순간전압상승 특성시험

(1) 순간전압상승 120cycle 110% 시험

기준전압 220V 110%의 120cycle 동안 계통에 비정상 상태로 공급했을 때의 인버터 동작특성 시험 결과는 그

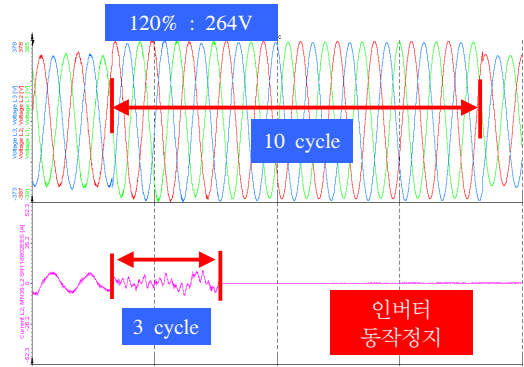
림 7과 같다. 전압에 순간전압상승이 발생했을 때 전압이 상승한 만큼 전류가 계통과 동일한 상태를 유지하기 위해 전압이 증가하는 경우 인버터 동작전류는 미세한 크기의 전류로 감소하였지만 인버터는 차단되지 않고 비정상적으로 동작하였다. 연계기준에 의거 110%이상의 순간전압상승이 발생할 경우 1.0sec 이내에 차단되어야 하나, 시험결과는 아래와 같이 전류의 크기는 미세하게 감소하였으나, 인버터는 차단되지 않고 비정상적으로 동작함을 알 수 있었다.



[그림 7] 인버터 동작 특성(전압 및 전류)

(2) 순간전압상승 10cycle 120% 시험

기준전압 220V 120%의 10cycle 동안 계통에 비정상 상태로 공급했을 때의 인버터 동작특성 시험 결과는 전압에 순간전압상승이 발생했을 때 전압이 상승한 만큼 전류가 계통과 동일한 상태를 유지하기 위해 전압이 증가하는 경우 인버터 동작전류는 3cycle 후 전류의 크기가 감소하면서 그림 8과 같이 인버터는 트립되었다. 따라서 순간전압상승 시험결과는 220V 120%에서는 순간전압상승이 120% 이상일 경우 3cycle 0.01s 후 인버터는 정상적으로 정지하였다. 순간전압상승 시험은 110% 크기에서는 연계기준에 의거 1.0s에 차단되어 하나 차단되지 않고 비정상적으로 동작하였지만, 120% 크기에서는 0.16s 이내에 차단기가 동작해야 하는데 3cycle 0.05s 이내에 트립되어 연계기준에 만족함을 확인할 수 있었다.

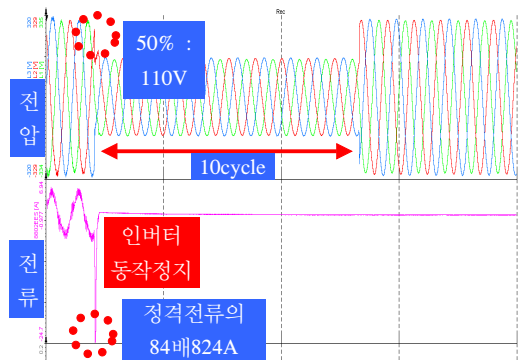


[그림 8] 인버터 동작특성(차단)

3.2.2 순간전압강하 특성시험

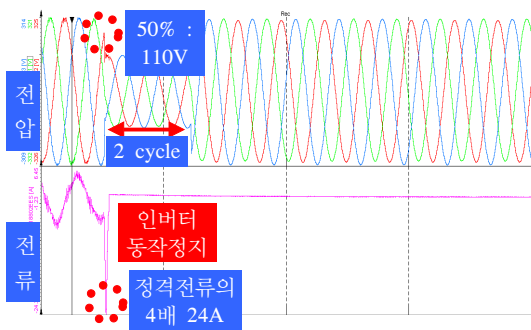
(1) 순간전압강하 (연계점 전압 50%)

기준전압 220V의 50%를 10cycle 동안 계통에 비정상 상태로 공급했을 경우 분산전원 계통연계 기준은 0.16s (10 cycles) 이내에 계통에서 분리되어야한다. 그림 9는 순간전압강하가 발생했을 때 전압이 감소한 만큼 전류가 계통과 동일한 상태를 유지하기 위해 전압이 감소하는 동일 시점에서 인버터 내부 보호회로 중 과전류 계전요소가 동작하면서 인버터 동작전류는 “0”이 되고 동작이 중지되었고, 기준에 만족함을 확인하였다.



[그림 9] 인버터 동작특성(50% 10cycles)

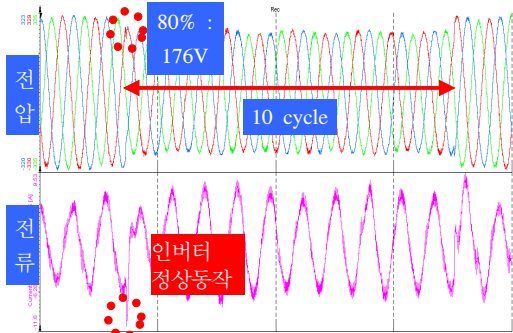
한편, 기준전압 220V의 50%를 2cycle 동안 계통에 비정상 상태로 공급했을 때의 인버터 동작특성 시험 결과는 그림 10과 같이 전압에 순간전압강하가 발생했을 때 위의 시험과 동일하게 전압이 감소한 만큼 전류가 계통과 동일한 상태를 유지하기 위해 전압이 감소하는 동일 시점에서 인버터 내부 보호회로 중 과전류 계전요소가 동작하면서 인버터 동작전류는 “0”이 되고 동작을 중지했다.



[그림 10] 인버터 동작특성(50% 2cycles)

(3) 순간전압강하(연계점 전압 80%)

기준전압 220V의 80%를 10cycle 동안 계통에 비정상 상태로 공급했을 때는 기술기준에 따라 $50 \leq V < 88$ 범위에서 분산전원은 2s 이내에 차단되어야 한다. 그림 11과 같이 전압에 순간전압강하가 발생했을 때 위의 50%에서의 시험과는 다르게 인버터는 비정상적으로 동작상태를 유지했다. 따라서 80%의 순간전압강하가 발생한 경우에는 기술기준을 만족하지 못함을 확인할 수 있었다.

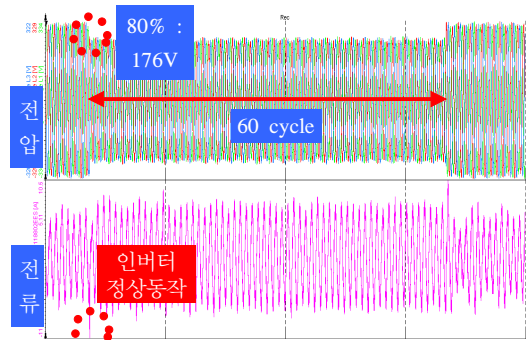


[그림 11] 인버터 동작특성(80% 10cycles)

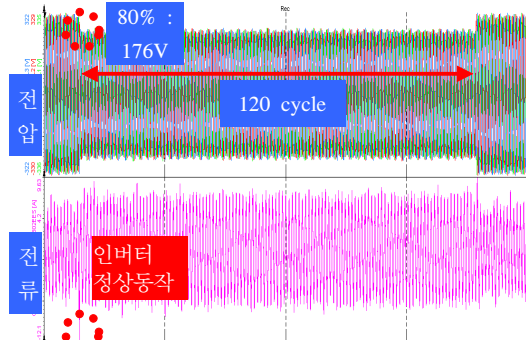
기준전압 220V의 80%를 60cycle, 120cycle 동안 계통에 비정상 상태로 공급했을 때의 인버터 동작특성 시험 결과는 그림 12와 그림 13과 같이 전압에 Voltage Sag가 발생했을 때 인버터는 비정상적으로 동작 상태를 유지했다.

세 가지 시험을 통하여, 기준전압 220V의 80% 크기에 대하여, 10, 60, 120cycle에서는 인버터가 비정상적으로 동작 상태를 유지하는 것을 알 수 있었다. 국제기준에 의거 기준전압의 80%의 Voltage Sag가 발생했을 때 계통 연계형 인버터는 2sec 이내에 차단이 되어야 하나, 위의 80% Voltage Sag가 발생할 경우 시험을 통해 얻은 결과는 정상적인 차단이 이루어지지 않음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구를 통하여 태양광 인버터에 대한 성능

개선이 필요함을 알 수 있었다.



[그림 12] 인버터 동작특성(80% 60cycles)



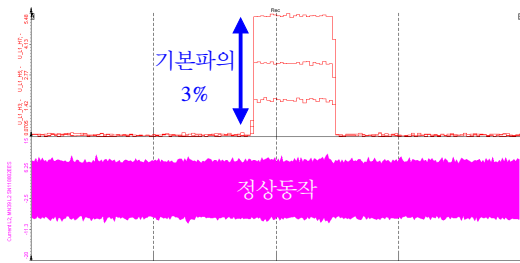
[그림 13] 인버터 동작특성(80% 120cycles)

3.2.4 고조파주입 시험

고조파 주입시험은 연계계통의 고조파부하가 많은 경우를 고려하여 공급전압의 중합왜형률이 3%인 경우와 5%인 경우를 고려하였다.

(1) 중합왜형률 3%인 경우

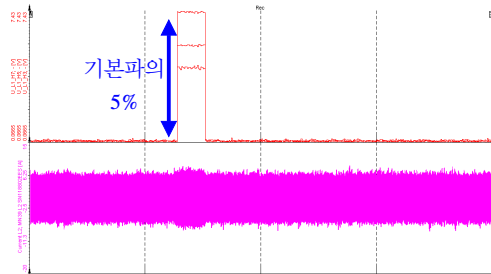
AC전원 모의 장치를 이용하여 임의의 차수별 고조파 합계인 중합 왜형률(THD) 이 계통 측에서 기본파의 3% 발생하는 경우 인버터 동작특성에 대해 시험하였다. 시험을 위해 AC전원 모의장치 운영소프트웨어를 이용하여 3th 2.4%, 5th 1.5%, 7th : 0.8%, 11th 0.5% 인가하여 중합 왜형률 3%를 설정한 후 인버터 동작특성 시험을 한 결과 그림 14와 같이 인버터는 정상적으로 동작하였다.



[그림 14] 계통측 기본파의 3% 주입특성

(2) 종합왜형율 5%인 경우

AC전원 모의장치를 이용하여 임의의차수별 고조파 합계인 종합왜형율(THD)이 계통측에서 기본파의 5%가 발생하는 경우 인버터 동작특성에 대하여 시험하였다. 시험을 위해 AC전원모의장치 운영소프트웨어를 이용하여 3th 3.3%, 5th 2.5%, 7th : 2.0%, 11th 2.0% 인가하여 종합 왜형율 5%를 설정한 후 인버터 동작특성 시험을 한 결과 그림 15와 같이 인버터는 정상적으로 동작하였다.



[그림 15] 계통측 기본파의 5% 주입

4. 결론

본 논문에서는 저압선로에 연계된 분산전원의 과도특성을 해석하기 위하여 시험센터를 구축하여 다양한 과도 특성시험을 수행하였다 주요 내용은 다음과 같다.

- (1) 순간전압상승 시험에서 110% 크기에서는 연계기준에 의거 1.0s에 차단되어 하나 차단되지 않고 비정상적으로 동작하였고, 120%에서는 0.16s이내에 차단기가 동작해야 하는데 3cycle 0.05s 이내에 정상적으로 차단되어 연계기준에 만족함을 확인할 수 있었다.
- (2) 순간전압강하 10cycle/2cycle 50% 시험의 경우 0.16초 이내에 즉시 분리 동작하였으나, 순간전압강하 10cycle/60cycle/120cycle 80%시험에서는 분

리되지 않았다. 따라서 현재 국내 보급되고 있는 인버터의 사양에 대한 검토가 필요함을 확인할 수 있었다.

- (3) 태양광전원에 종합왜형율 3%와 5%를 공급하여 인버터 동작특성 시험을 한 결과, 인버터는 정상적으로 동작하여 인버터의 성능에 문제점이 없음을 확인할 수 있었다.
- (4) 실제의 배전계통에 다양한 형태의 분산전원이 연계될 때 나타날 수 있는 제반현상을 본 실증시험장의 설비를 활용하여 실증시험을 수행하고, 그 결과의 종합분석을 통하여 기 제정된 분산전원 배전계통 연계기술기준이 수정/보완되는 데 중요한 역할을 할 수 있음을 확인할 수 있었다.

상기의 시험결과에 따라, 순간전압강하 및 상승에 대한 지속시간에 문제점이 발생하여, 앞으로 이 분야에 대한 상세연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] 분산전원 배전계통 연계기술기준, 한국전력공사 2005. 4.
- [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 연구, 산업자원부 2004. 8.
- [7] 한국전력, “디지털형 보호 계전기”, June, 1996
- [8] 한국전력, “타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무지침”, August, 1996
- [9] IEEE 1547 "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" 2003. 7.
- [10] IEEE 1547 "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" 2003. 7.
- [11] IEEE 1547.1 "IEEE Standard conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" 2005. 1.
- [12] Hadi Saadat, "Power System Analysis", McGraw-Hill, Printed in Singapore, 1999.
- [13] 노 대석 외, “신재생에너지전원이 연계된 배전계통에서 보호협조방안에 관한 연구”, 한국산학기술학

회, 춘계학술회 논문집, 2008. 5.

[14] 노 대석, “배전계통에 있어서 전압변동이 일반 수용가에 미치는 영향에 대한 분석”, 한국산학기술학회, 춘계학술회 논문집, 2008. 11.

[15] 노대석 외, “태양광발전이 연계된 배전선로의 리클로저의 오동작에 대한 연구”, 한국산학기술학회, 춘계학술회 논문집, 2009. 5.

윤 기 갑(Gi-Gab Yoon)

[정회원]



- 1983년 2월 : 한양대학교 전기공학과(공학사)
- 1988년 8월 : 한양대학교대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1990년 1월 ~ 현재 : 한전 전력연구원

<관심분야>

전력계통, 배전계통, 분산전원연계, 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 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석

김 의 환(Hwan-Eui Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 충남대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 충남대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1995년 1월 : 한전전력연구원 선임연구원
- 2006년 1월 ~ 현재 : 한전전력연구원 책임연구원

<관심분야>

신재생에너지, 태양광