한국에너지공학회지(2000), 제9권 제3호
Energy Engg. J(2000), Vol. 9, No. 3, pp. 243~249

배전선의 고장해석을 위한 지락 및 단락 시험장치 개발

金應相 · 李在福
한국전기연구소

Development of Ground and Short Test Equipment for Fault Analysis of Distribution Line

Eung-Sang Kim and Jae-Bok Lee
KERI

요 약

대체에너지에 대한 연구가 활발히 진행됨에 따라 향후 배전계통은 신 에너지 전원 등과 같은 분산형 전원과 연계되어 네트워크 형식으로 구성될 것으로 예상된다. 이러한 배전계통의 변화는 지락 및 단락 사고시 기존의 보호협조에 있어서 많은 문제점을 발생시킬 것이며, 이러한 배전계통의 변화와 전력 고품질 요구에 대응하기 위해서는 새로운 보호협조 체계가 필요하다. 새로운 보호협조 방식의 개발을 위해 필수적인 지락과 단락사고시 배전계통의 사고 데이터는 실제 운영 도중에 얻기 어렵다. 본 논문에서는 기존 전원시스템 및 신 에너지 전원을 포함한 새로운 배전계통의 운용시 발생할 수 있는 사고 상황을 예측하고 고장 데이터를 수집하기 위해 저압 배전선로에 인위적으로 지락 및 단락을 발생시킬 수 있는 장치의 개발에 대해 서술한다. 개발한 시험장치의 기능을 확인하기 위하여 실제 배전계통에 적용하여 지락 및 단락 시험을 수행하여 전압 및 전류 파형을 측정 · 분석하여 시험장치의 신뢰성과, 효용성을 검증하였다.

Abstracts — Research into alternative energy source proceeding, the electric power distribution system will change into the network system type in the future, which interconnects the distribution system and the distributed resource as the new energy power source. This change is expected to cause various problems in the conventional protection and coordination and to require a new type of protection and coordination system. Practically, It is impossible to measure real fault data at that time which the short circuit and line to ground fault really happen in power distribution system. In this paper, to obtain accurate fault data and predict accident conditions occurable in the new power distribution system including new energy power source, development of new fault test equipment, which can apply artificial short circuit and line to ground faults on low voltage-level distribution lines, is described. To verify the reliability and usefulness of the developed equipment, a real distribution system is applied.

1. 서 론

국제적인 환경문제 및 지구보존의 차원에서 선진국을 비롯한 국내에서도 태양광발전, 연료전지발전, 풍력발전 등 신 에너지전원 개발에 박차를 가하고 있으며, 일부는 실용화되고 있는 실정이다. 이러한 신 에너지전원은 독립전원으로도 사용이 가능하나, 기존의 상용 전력계통과의 연계하여 사용함으로써 신 에너지전원의 경제성 확보 등에 유리하다고 판단되어진다. 또한 설비용량에 따라 차이는 있지만 주로 저압배전선에 연계하는 것이 바람직하며 주로 소규모 분산형 전원 시스템으로 운용되어질 것으로 여겨진다. 신 에너지원은 출력형태가 기존의 상용 전력계통과 꼭 일치하지는 않으므로, 필요시 변환장치를 이용하여 연계하는 경우도 있고, 연계에 따른 공급신뢰도, 전력품질, 보안확보 등의 현재의 수지상 배전계통과는 다른 개념의 보호 계전 시스템이 요구되어질 것이다.

이러한 신에너지전원이 배전계통과 네트워크 형태로 운전되는 경우에 1선지락, 2선지락, 선간 단락 및 3상 단락 등의 사고 발생시 기존 전력계통상의 보호협조체계

에 막대한 영향을 미칠 수가 있고, 분산 전원 시스템 및 배전계통 운영체제 붕괴에 의한 경제적인 손실이 예상된다. 특히, 계통에서의 정전 발생시 이러한 신에너지전원이 단독운전을 하는 경우에는 고장선로를 충전하여 인체 및 설비의 안전확보에 큰 문제가 생길 우려가 있을 뿐 아니라 사고점의 피해 확대와 복구지연 등에 의해 공급신뢰도 저하를 초래할 가능성도 있다.

국외에서는 기존에 축적해온 고장 데이터를 바탕으로 전력계통 고장 현상에 대한 연구가 활발히 진행 중이며[1] 복합 기능의 보호협조 시스템에 대한 연구가 본격적으로 추진되고 있다[2,3]. 국내에서도 전형적인 수지 상보호 협조 시스템이 구축되어 있으며, 신 에너지원에 대한 관심이 높아짐에 따라 복합기능 보호 협조 시스템 연구와 송배전 선로의 재폐로 방식의 최적화 연구가 진행되고 있다. 하지만, 신 에너지 전원인 경우에는 연계 운전 경험이 없고, 지락·단락과 같은 배전계통의 사고에 대한 데이터를 실제 운영 데이터에서 얻는 것은 거의 불가능하여 자가용 발전 설비를 포함한 새로운 배전 방식에 대한 계통 운영 데이터는 전무한 실정으로 컴퓨터를 이용한 모의실험에 의존하고 있다.

이러한 배전계통 운전 환경의 변화와 전력 고품질 요구 등에 대응하기 위하여, 배전계통 고장특성을 정확하게 파악하고, 이들에 적합한 새로운 개념의 배전계통용 보호 계전 시스템을 개발하고, 각종 부하 및 전원의 연계 기준을 마련하기 위해서 실제의 계통연계 시험 즉, 지락 및 단락 시험을 수행한 후 그 결과로부터 새로운 보호협조에 대한 정립이 필요한 시기이다[4,5]. 본 논문에서는 기존의 전원 시스템 및 신 에너지 전원을 포함한 새로운 배전계통의 운용 전에 지락·단락 시험을 수행하고 그에 따른 고장 데이터를 수집하기 위한 저압 배전계통용 직·교류 지락 및 단락 발생장치의 개발과 저압 배전계통 지락 및 단락사고에 대한 모의실험 및 개발한 장치를 이용한 시험을 통하여 지락 및 단락사고에 대한 데이터를 제시하고자 한다.

2. 시험장치 구성

직/교류 지락 및 단락 시험장치는 3상 교류 전원 시스템의 1선 지락, 2선 지락, 선간단락, 3상단락 및 각종 지락 및 단락 사고를 제어기에 의한 차단기의 제어로 다양한 선로 및 접지 환경에서 모의 실험을 할 수 있도록 하였으며, 신 에너지전원의 출력이 직류인 경우를 대비하기 위해 직류 전원 시스템의 경우에도 직류 고속 차단기의 제어로 +와 −의 지락 및 단락 사고를 모의할 수 있도록 도안되었다. 이러한 교류 및 직류 지락 및 단락 시험장치의 구성도는 Fig. 1로 나타내어지며 차단기, 전압·전류 검출회로, 지락·단락 발생부, 제어부 등으로 구성되어 있다. 제어장치 구성은 마이크로 프로세서를 이용하여 주차단기와 직류 고속차단기(DC HSCB) 등을 구동하게 되며, 상위 시스템과의 직렬통신을 통하여 시스템의 각종 운전 상태를 지령 받게 되며 측정한 데이터를 저장하게 된다.

한편, 직/교류 지락 및 단락 시험장치의 모든 보호장치는 오동작을 방지하기 위해 서로 보호 협조가 되도록 설계하였고, 지락 및 단락 시험 시 사용자 안전과 주변 기기의 동작에 지장을 초래하지 않도록 설계 및 설치가 되어야 한다. 사용자와 시스템 보호를 위하여 한시 특성을 갖는 과전류 검출회로를 부가하여 과전류 검출 시

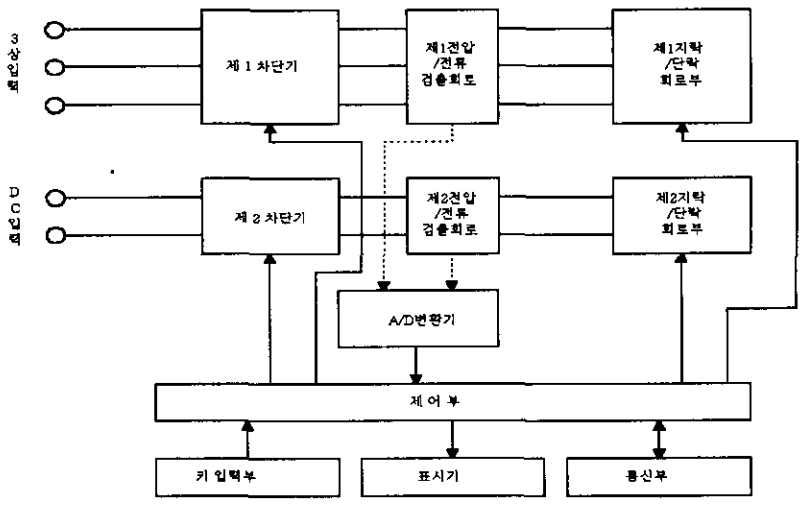

Fig. 1. Block diagram of test equipment for short circuit and line to ground fault.

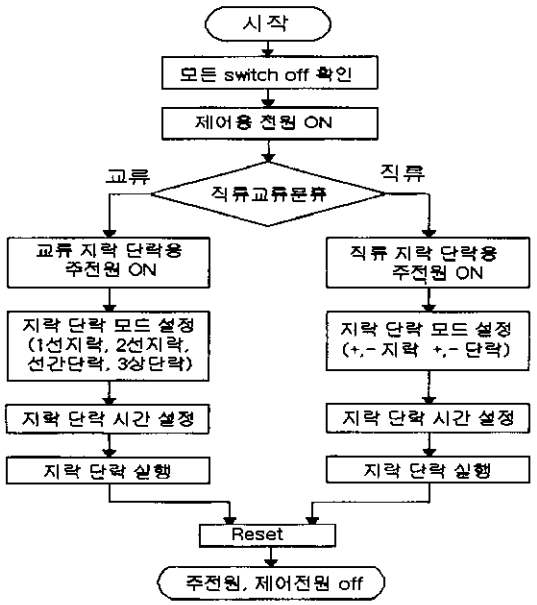

Fig. 2. Operation algorithm of test equipment.

신호를 주 제어기로 송신하여 적절한 시스템 보호 기능이 작동하도록 하였다.

지락 및 단락 시험장치의 써어지 보호 회로를 구비하며, 시험장치 외함 내부에 설치한다. 써어지 보호용 콘덴서와 무 유도성 저항 회로는 퓨즈로 보호된다. 각종 퓨즈 용단 시는 경보를 전송하고 외함에 설치된 표시등이 점등하여 고장 개소의 확인이 용이하도록 하는 한편 그 신호를 감시 제어 설비에 보낼 수 있도록 하고, 주요부에 신 에너지 전원 및 변환장치 등의 보호와 사용자 보호를 위하여 고속차단 퓨즈를 사용 및 온도 감지 센서를 설치하여 보호 장치와 감시 제어를 위한 Transmitter를 설치하였다. 시험장치와 대지 또는 주변기기 사이에는 5.4 kV 이상의 절연 내압을 갖도록 하였다. 구성된 시험장치의 동작을 위한 흐름도는 Fig. 2에 나타낸바와 같이 직류 시험부와 교류 시험부로 분류되며, 상기와 같은 내용을 토대로 실제 제작된 시험장치의 사진을 Fig. 3에 제시하였다. Fig. 3의 전면 패널에서와 같이 우선 제어전원을 넣은 다음 직류 또는 교류로 분류할 수 있는 분류 스위치, 그리고 직류이든 교류이든 공히 시험 모드와 시험 시간을 정정할 수 있도록 별도의 스위치가 설치되어 있으며, 모든 준비가 완료되었을 때 시험 실행을 위한 최종 실행 스위치로 구성되어있다.

2-1. 직류 지락 및 단락 시험 장치

직류 지락 및 단락 시험장치는 태양전지, 연료전지 등의 신 에너지원과 이 전원에 구성되어있는 변환장치 사

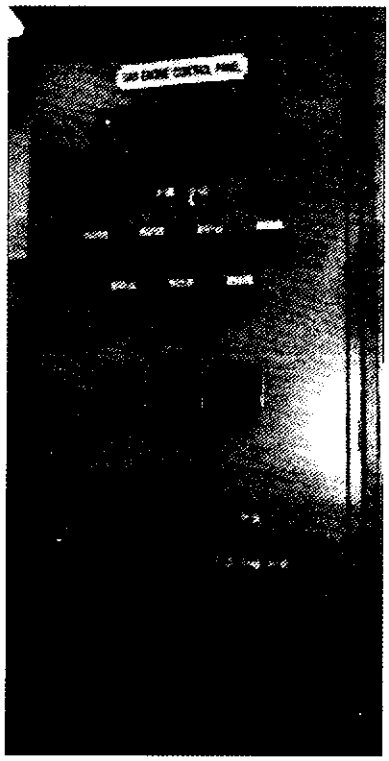

Fig. 3. A photograph of test equipment.

이 등의 구간에서 발생할 수 있는 지락 및 단락 상황에 대한 실험을 위해 구성되었고, 정격입력 전압의 범위는 필요에 따라서는 다양하게 구성할 수 있지만 본 논문에서는 직류 100~600 V로 설정하였다. Fig. 4는 직류 지락 및 단락 시험장치 회로도이다. 차단부는 직류 차단 스위치를 두어 입력 전원을 투입 또는 차단할 수 있도록 하였으며, 부가적으로 전자적 과전류 차단 기능을 갖도록 한다. 지락 및 단락 시험장치를 구성하기 위해서는 4 kA의 차단 능력을 갖는 직류 고속 차단기(DC HSCB)를 보호회로로 사용하는 회로를 구성한다.

전원의 투입 및 차단, 직류 고속차단의 동작은 제어

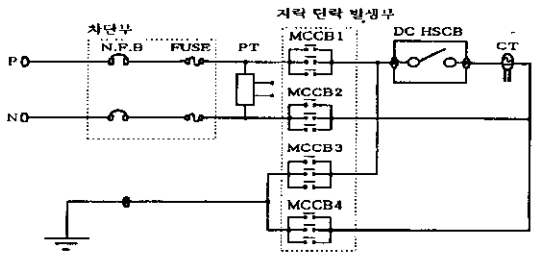

Fig. 4. Circuit of DC test equipment.

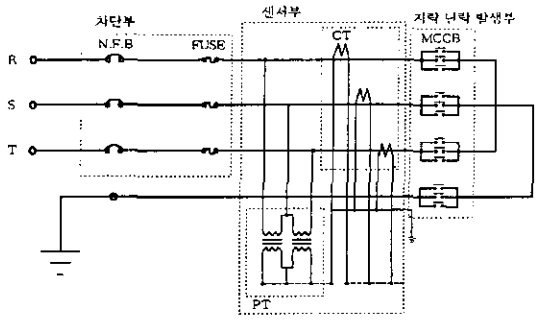

Fig. 5. Circuit of AC short circuit and line to ground fault test equipment

기에 의해 동작하게 된다. 입력 전압 및 전류를 측정하여 시스템 판넬 전면부의 표시기에 표시할 수 있도록 DCCT 및 DCPT를 설치하고, 지락 및 단락 전류를 검출하기 위한 DCCT는 5 kA 이상의 대전류 측정 범위를 가지면서도, 천이 특성도 측정할 수 있는 고주파 대역의 CT를 사용하였다.

2-2. 교류 지락 및 단락 시험부

저압 배전계통의 지락 및 단락상황을 발생시키기 위한 교류 지락 및 단락 시험부 구성은 Fig. 5로 나타내어지며 3상 60 Hz 380 V를 정격 입력으로 한다. 입력부에는 차단기를 두어 입력 전원을 투입 또는 차단할 수 있도록 하였으며, 전자적 과전류 차단 기능을 갖도록 한다. 이때, 전원의 투입 및 차단은 본 시험장치의 제어기를 통하여 수행할 수 있도록 한다. 또한, 입력 전압 및 전류를 측정하여 시스템 Panel 전면부의 Digital Meter에 표시할 수 있도록 CT 및 PT, Transducer를 설치한다. 이때 CT와 PT의 데이터를 외부 출력기구로 전송할 수도 있도록 한다.

등가 선로의 지락 및 단락 시험기를 구성하기 위해서는 4 kA의 차단 능력을 갖는 MCCB를 기본으로 하는 회로를 구성한다. MCCB등 지락 및 단락 회로는 제어기에 의해 동작하게 되고 기타 모든 운전도 제어기에 의하여 동작되도록 한다. 지락 및 단락 전류를 검출하기 위한 CT는 5 kA이상의 대전류 측정 범위를 가지면서도, 천이 특성도 측정할 수 있는 고주파 대역의 CT를 사용하도록 한다. 입·출력단은 모의 배전 선로와 외부 출력기구와의 결선을 용이하도록 단자대 처리한다.

3. 시험 결과 및 분석

설계 및 제작된 시험장치의 성능 시험을 위한 연계계통 구성은 Fig. 6과 같이 한국전력에서 수전한 22.9 kV의 수용가내에 기존에 구성된 구내의 6.6 kV 선로를 실증시험장과 연결시키고 시험장내에서는 필요한 각종 사고에 대한 보호장치를 별도로 구성하였다.

Fig. 6의 시험 계통도에서 여러 가지 전원을 이용하여 다양한 시험을 수행하였으며, 그 중에서 계통연계 운전형 태양광발전장치와 시험계통과의 연계운전시 지락 및 단락 고장을 발생시키기 위한 회로도는 Fig. 7과 같이 구성하였다. 회로도에서와 같이 태양광발전장치는 태양전지에서 직류 전력이 발생되고 인버터를 통하여 기존계통과 동기 시킨 후 계통으로 전력을 공급하게 되는데 본 논문에서 설계 및 제작된 시험장치는 태양광발전장치와 기존 계통사이에 연결되어 지정해준 대로의 지락 및 단락 고장 시험을 일으키게 된다. 이때 한 예로서 지락시험을 일으키기 위한 시험 진행 순서는 다음과 같다.

① 지락/단락 시험장치를 지락사고 모드로 설정한다(시간설정 예: 30cycle 등).

② Fig. 7의 A점의 전류를(고용량 CT의 2차측 전류)

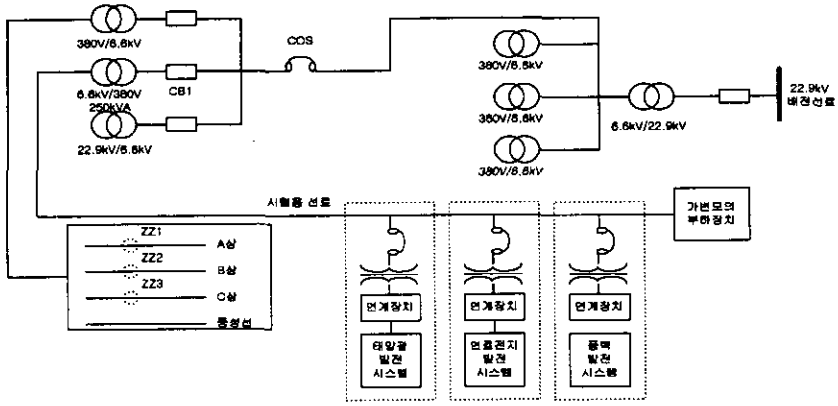

Fig. 6. Power distribute system model for real test.

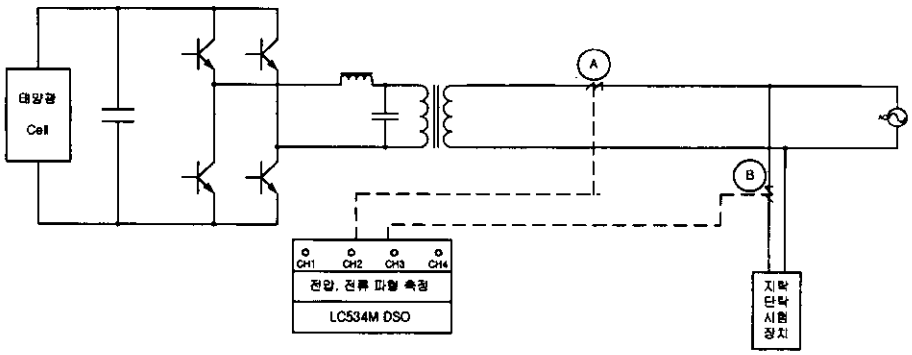

Fig. 7. Test circuit for short and lint to ground.

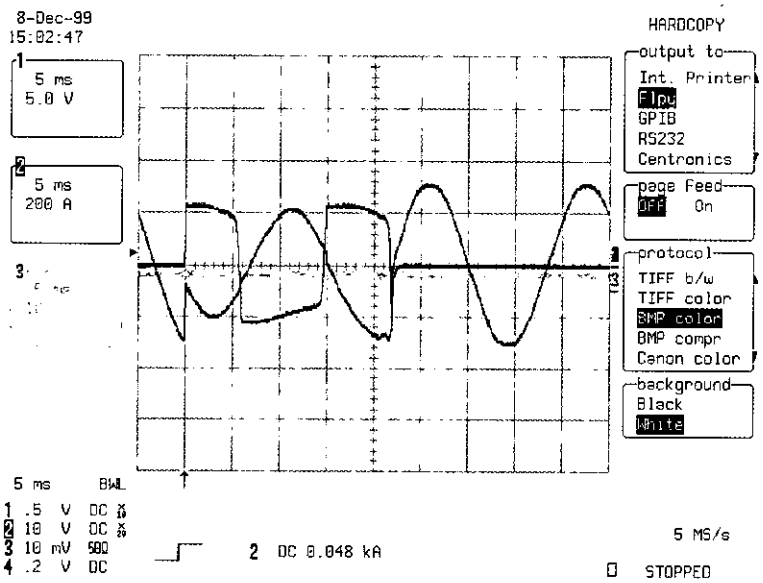

Fig. 8. Profiles of system voltage and solar cell current for the line to line fault.

LC534M DSO의 channel 1(전류 probe 이용)에 연결하고 B점의 전류(고용량 CT의 2차측 전류) LC534M DSO의 channel 2(전류 probe 이용)에 연결한다.

③ 시험을 수행한다.

④ LC534M DSO의 파형을 disk에 저장한다.

이상과 같은 순서에 의해 지락 및 단락 시험을 수행할 수 있으며, 모드를 크게는 지락 및 단락 세부적으로는 1선지락, 2선지락, 선간단락 및 3상 단락 등 다양한 고장시험을 수행하였으며, 그 결과를 대표적으로 Fig. 8부터 10까지 나타내었다. Fig. 8은 R상 지락 사고시 R상 계통전압(Ch1: 200V/Div.)과 R상 계통공급전류(Ch2: 200A/Div.)로 지락발생 이후에 전압은 현저히 저하하고 전류는 갑작스럽게 증가함을 알 수 있다. 그리고 Fig. 9는 S상 지락 사고시 S상 계통전압(Ch1: 200V/Div.), S상 태양광 발전시스템 공급전류(CH2: 10A/Div.), S상 계통공급전류(CH3: 3000A/Div.)로 이때도 마찬가지로 지락상의 전압은 거의 0으로 나타났으며, 전류는 대단히 증가함을 알 수 있다. 또한 Fig. 10은 S상 지락 사고시 R상전압(Ch1: 200V/Div.), S상 계통공급전류(Ch2: 600A/Div.)와 중성선 전류(Ch3: 600A/Div.)로 중성선의 전류가 양쪽에서 공급이 증가되어 내부 임피던스에 상당하는 만큼의 증가함을 알 수 있다. 지금까지의 결과로 보면 설계 및 제작된 시험장치는 정상적으로 동작함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서 개발된 직/교류 지락 및 단락 시험장치

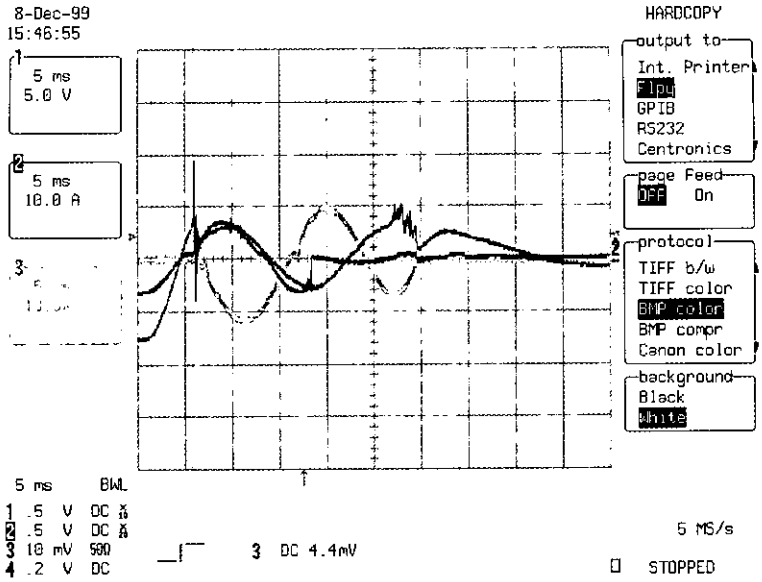

Fig. 9. Current profiles of utility system and inverter for single line to ground fault.

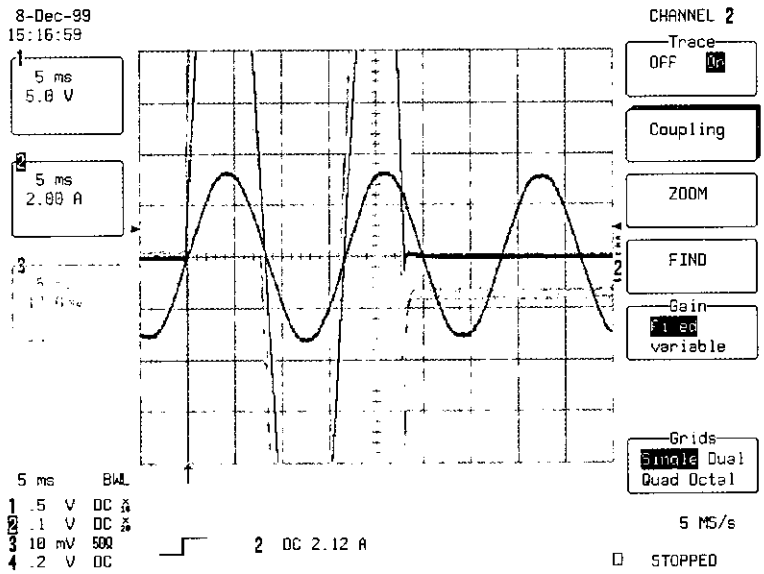

Fig. 10. Voltage and current profiles of utility system and inverter for three phase short fault.

는 실제 계통연계 운영상에서 발생이 예상되는 현상을 인위적으로 쉽고 안전하게 배전계통 및 신에너지전원의 변환장치와 함께 지락 및 단락 현상을 발생시킬 수 있었으며, 상위 제어기와의 통신을 통하여 각종 데이터 수집 및 관리가 체계적으로 수행될 수 있도록 설계 및 제작되었다. 따라서 기존 배전계통의 보호협조체계 및 각종 배전방식에 대한 보호협조 기술의 검토에 도움을 줄 수 있으리라 기대되며, 신 에너지 전원의 계통 연계시 필요한 보호협조 기술을 개발하는데 도움을 줄 수 있으리라 기대된다. 또한 전력품질 향상을 위해 필요한 계통 고장 특성을 파악할 수 있으며, 복잡 다양한 배전계통 운용형태에 적합한 새로운 개념의 배전계통 보호 협조 시스템의 개발을 용이하리라고 기대된다. 향후 새로운 신 에너지전원이 개발되거나 변환장치의 제어방식의

변화가 있더라도 여러 가지 시험을 빠르고 정확하게 수행할 수 있으며, 각종 데이터 수집도 편리하도록 설계되었다. 또한 신에너지전원용 변환장치 설계 시에도 계통의 단락 및 지락과 같은 고장상황을 시험하고, 시스템 보호와 계통측과의 연계협조체제를 구축하는 것에 많은 도움을 줄 수가 있다고 판단된다. 이러한 지락 및 단락 시험장치를 제작하여 사용함으로써 시험자의 안전은 물론 각종 주변기기 보호를 확보하는데도 유용하리라 기대된다.

참고문헌

1. R.C. Dugan, Mark F. McGranaghan and H. Wayne Beaty: "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, pp. 9-80 1996.
2. C.M. Warren: "The Effect of Reducing Momentary Outages on Distribution Reliability Indices", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No. 3, pp. 1610-1617, July 1992.
3. ANSI Standard for Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings (60Hz), ANSI Standard C84.1-1989.
4. J. Ward et al: "Power Quality Two Different Perspectives", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 5, No. 3, pp. 1501-1513, July 1990.
5. L. Contrad, K. Little, and C. Grigg: "Predicting and Preventing Problems Associated with Remote Fault-clearing Voltage Dips", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 27, No. 1, pp. 167-172, January 1991.