

전압가변 시험장치의 개발에 관한 연구

김 응 상

한국전기연구소

A Study on Development of Test Equipment for Voltage Variable

Eung-Sang Kim

KERI

요 약

신 에너지 전원의 배전 계통과의 실제 연계 운전상에서 순간정전, 순간전압상승 및 강하 등의 전압가변 현상이 자주 발생하게 된다. 본 논문에서는 이러한 영향에 따른 문제점을 검증하여 사전에 대처할 수 있는 방안을 모색하고자 전력품질의 변화를 임의로 발생시키고 특정시간 후에 다시 원상으로 회복시키는 전원의 전압가변 시험장치를 개발하였다. 개발한 시험장치는 캐패시터, 바이패스 스위치, 가변 변압부, 전압·전류 검출부, 직류 전원공급기, 제어·구동부 표시·조작부 등의 구성을 가지고 있다. 개발한 시험장치의 정상적인 동작에 의한 기능을 확인하기 위하여 실제 배전 계통에 적용하여 순간정전, 순간전압상승 및 강하 시험을 실시하며 전압·전류 파형을 측정·분석하여 시험장치의 신뢰성과, 효용성을 검증하였다.

Abstract — The actual state of voltage variations that instantaneous voltage interruption, swell and sag, etc are occurred under the operation of new energy sources interconnection to the electric power distribution systems constantly. In this paper, It developed the voltage regulation test unit with issuing variation of power quality optionally and then recovering normaly after given time for grope protection proposal with analysis of problems followed this effect. This unit have the configuration of divisions that are circuit breaker, bypass switch, valuable transition circuit, voltage-current sensor, DC power supply, control-drive circuit, display-keyboard, etc. It applied to electric power distribution systems and enforced test of instantaneous voltage interruption, swell and sag to be certify the performance under normal operation. And the result, it was verified reliability and usability of the voltage regulation test unit through the measurement and analysis of output voltage-current.

1. 서 론

국제적인 지구환경 문제, 국민 생활수준의 향상으로 인한 전력소비량의 증대 및 전력산업의 구조개편 등 국내 외의 다변화에 대응하여 선진국은 물론 국내에서도 대체에너지, 즉 신 에너지 전원의 개발에 박차를 가하고 있으며, 일부는 실용화되고 있는 실정이다. 현재, 태양광발전, 풍력발전, 연료전지발전, 바이오, 폐기물, 태양열, 소형 열병합발전 등의 신 에너지 전원 시스템은 선진국은 물론이거니와 국내에서도 개발중이거나 실용화 추진 중에 있다. 신 에너지 전원의 도입 시, 경제성 확보 및 보급확대, 효율적인 운용을 위하여 독립운전 보다는 기존의 배전계통과 연계되어 운전되어야 할 것이고, 연계

운전될 경우 기존의 배전계통의 운영체제가 단일 운영체제에서 복수의 운영체제(단방향에서 양방향)로 바뀌게 된다. 이와 같은 연계 운전 시에 여러 가지 원인으로 예기치 않는 순간정전, 순간전압상승 및 강하 등과 같은 전력품질의 변화가 운전 중에 발생될 수 있으며¹⁾, 이러한 현상들에 있어 새로운 배전계통 전원들에 대한 사전에 충분한 기술적인 검토가 수행되지 않은 상태에서 연계 운전하는 경우 배전계통의 파괴에 의한 경제적인 손실은 물론이거니와 생명에 위협을 주는 안전성에의 영향을 초래할 수도 있다. 그리고 신 에너지 전원의 본격적인 도입이 가속화 될 경우 이러한 변화는 더 심화될 것으로 예상되나 아직 까지 전력 품질의 변화가 어느 정도 또는 어떠한 경향으로 일어날 것인가를 예측할 수 있

는 기술이 없어 사전의 기술적 검토가 제대로 수행되지 않고 있는 실정이다^{[2][3]}.

한편, 상기와 같은 신 에너지 전원의 도입에 대한 전력품질 변화와 더불어, 기존에는 문제가 되지 않았던 순간정전, 순간전압 상승, 순간전압 강하 등과 같은 전력품질 변화가 최근 정보·통신 산업의 발전과 생활 수준의 향상으로 정보통신기기, 정밀제어 기기, 자동화 생산시설, 컴퓨터, 온라인 서비스 기기 등의 보급이 증가와 더불어 문제화되고 있다^{[4][5]} 또한 많은 수용가에서 전력품질 향상에 대한 요구가 급격히 증가하고 있으며 상기 전력품질 항목들은 정밀제어 기기나 정보통신기기 등에 민감한 영향을 끼치고 있음에도 불구하고 구체적으로 관리되지 않을 뿐만 아니라 전력품질의 변화가 기기에 어떤 영향을 미치고 있는 지조차 제대로 파악되지 않고 있는 실정이다^{[6][7]}.

본 논문에서는 이와 같은 전력품질의 변화로 인해 발생할 수 있는 제반 문제들을 검토 및 분석하고 그 대책을 세우고자 신 에너지 전원장치를 포함하는 새로운 배전계통의 도입 시, 운용 전에 전원장치와 배전계통과의 연계 등으로 인해 야기될 수 있는 전력품질 변화에 대하여 사전 시험을 수행할 수 있는 전원의 전압 가변 시험 장치를 제공함으로써, 순간 정전, 순간 전압상승, 순간 전압강하와 같은 전력품질 변화에 의한 순간사고가

신 에너지 전원, 신 배전 방식 및 전력 변화에 민감한 최신 정보기기 등의 안정도에 미치는 영향을 실제적으로 검토·분석할 수 있도록 하고, 보호시스템, 보호협조 등 전력계통 운영상의 제반 문제를 해결하여 강인하고 신뢰성 있는 배전계통을 구축하는데 도움이 되고자 한다.

2. 전압 가변 시험장치의 구성

2.1. 입력부 및 전원공급부

그림 2의 전압가변 시험장치 회로도에서 나타낸 바와 같이 기존의 배전 계통상에서 3상 60 Hz 380 V를 입력으

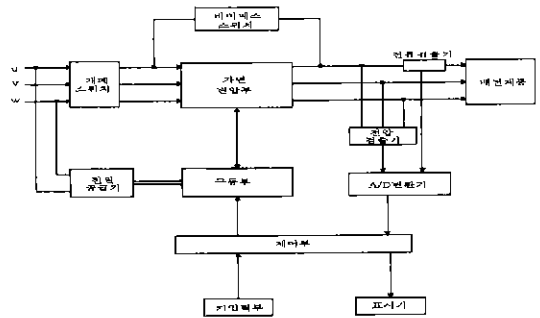


그림 1. 전압가변 시험장치 블록도.

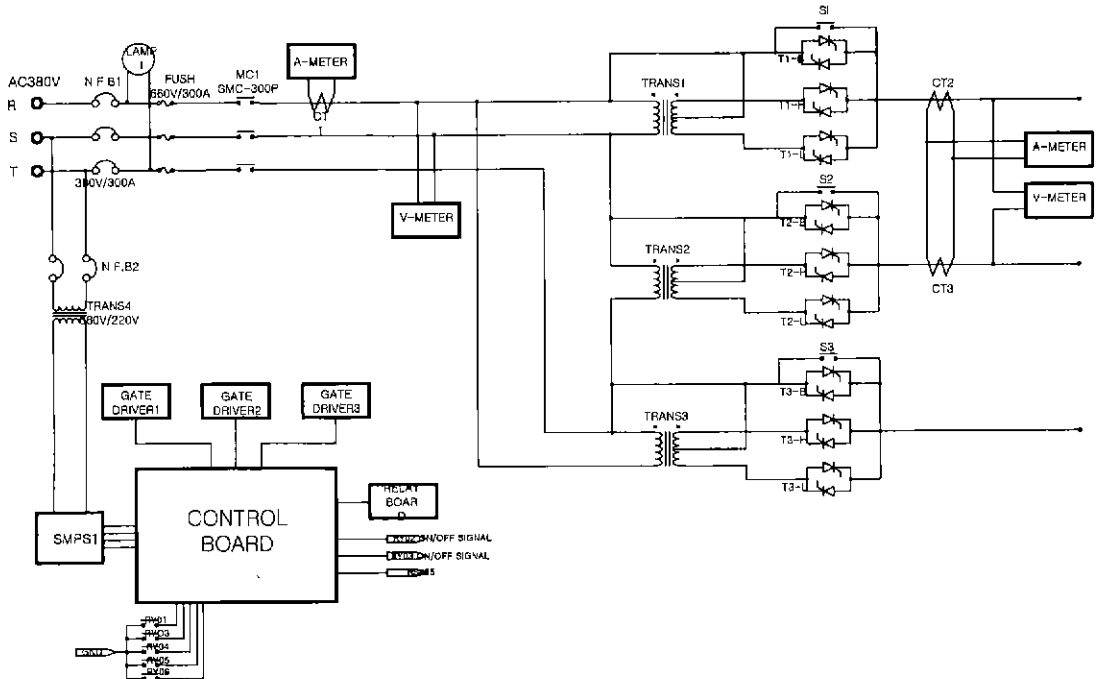


그림 2. 전압 가변 시험장치의 회로도.

로 하였다. 입력부에는 NFB를 두어 입력전원을 투입 또는 차단할 수 있게 하였고, 반도체 보호용 고속 퓨즈를 두어 계통을 보호하도록 하였다. 또한, 입력부에는 전자 접촉기를 두어 전원의 투입 차단을 제어기를 통하여 이루어질 수 있도록 하거나 원격제어가 되도록 하였다. 한편, 입력전압 및 전류를 측정하는 CT 및 PT, Transducer를 설치하였다. 또한 전원 공급기는 입력전원을 220 V로 강압하여 스위칭 방식 전원 공급기(SMPS)로 구성되어 각종 보드의 동작전원 및 제어전원 등을 공급한다.

2-2. 가변 변압부

입력부 다음에는 그림 3의 가변 변압부의 상세 구성도에서 보이듯이 순간정전, 순간 전압상승, 순간 전압강하를 위한 변압기(제1~3 변압기)가 놓이게 하였다. 이 변압기는 용량 100 KVA의 3상 단권 변압기로 구성하였으며, Δ 결선을 이루도록 하였다. 변압기의 권선과 프레임 사이에는 54 KV 이상의 절연내압을 갖도록 하였다. 또한 변압기의 출력은 선간전압으로 380 V-10%, 20%, 30%. 380 V+10%, 20%, 30%, 바이패스의 3상 탭을 갖도록 하였으며, 디지털 제어기에 의해 제어되는 사이리스터 스위치(Thy1~9)는 1200 V IRMS360A 용량의 사이리스터에 의해 구성되었으며, 사이리스터 스위치에 의한 탭 전환에 의하여 원하는 전압을 얻도록 하였다 가변 변압부의 결선은 1차측 권선이 3상 전력선로 도입단에 연결되고 2차측 권선은 하나 이상으로 분기되어 있는 제1~3 변압기가 있고, 제1변압기의 1차측 권선의 양단은 u 및 v상 선로에 각각 연결되고, 제2변압기의 1차측 권선의 양단은 v 및 w상 선로에 각각 연결되고, 제3 변압기의 1차측 권선의 양단은 w 및 u상 선로에 각각 연결되어 있다.

각 변압기의 2차측 권선의 분기점과 각 상의 출력 선

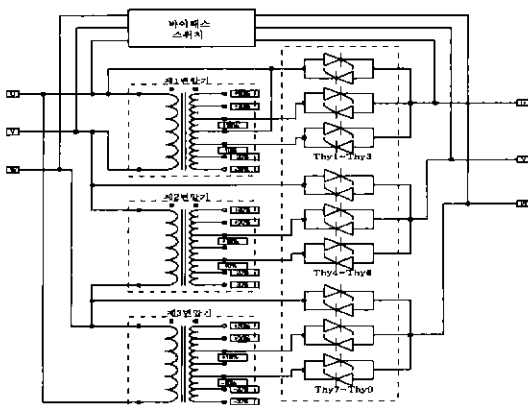


그림 3. 가변 변압부의 상세 구성도.

로단 사이에는 복수개의 사이리스터 스위치로 구성된 분기 조정부가 설치되어 있는 바, 제1 사이리스터 스위치(Thy1)의 일단은 u상 선로와 제1변압기의 1차측 권선과의 공통 접점 및 제1변압기의 2차측 권선의 중성점에 공통 연결되고 다른 단은 u상 선로의 출력단에 연결되어 있고, 제2, 3 사이리스터 스위치(Thy2, 3)의 일단은 제1 변압기의 2차측 권선의 각기 다른 임의 분기점에 연결되며, 그 임의 분기점은 2차측 전압을 상승 또는 하강시킬 수 있는 분기점으로서, 본 논문에서는 ±10%, ±20, ±30%이 상승·하강 분기점으로 규정하였지만, 이것은 필요에 따라 충분히 변경이 가능하다.

제4~6 사이리스터 스위치(Thy4~6)는 제2변압기와 v상 선로의 출력단 사이에 연결되되, 제1~3 사이리스터 스위치(Thy1~3)의 연결 관계와 대응되도록 연결되어 있고, 제7~9 사이리스터 스위치(Thy7~9) 또한 제3 변압기와 w상 선로의 출력단 사이에 연결되되, 제1~3 사이리스터 스위치(Thy1~Thy3)의 연결 관계와 대응되도록 연결되어 있다.

2-3. 제어부와 구동부

디지털 제어기에 의해 계산되고 지령되는 신호를 게이트 드라이브에서 증폭하여 선정된 사이리스터 스위치를 온/오프 시키도록 하였다. 정상전압에서 순간정전, 순간 전압상승, 순간 전압강하로의 전환시에나, 정상 상태로의 회복시에 출력 전압이 순간적인 정전이 발생치 않게 하는 것이 매우 중요하므로 순간정전이 발생치 않도록 제작하였다. 사이리스터 스위치 다음 단계 입력단과 마찬가지로 출력전압 및 전류를 측정하기 위하여 CT 및 PT를 설치하였다. 출력단은 모의 배전선로와의 결선을 용이하도록 단자대 처리를 하였다.

그림 2의 전압 가변 시험장치 회로도에서 제어부(Control board)와 그림 4의 제어부와 구동부 및 주변장치에 나타난 모든 제어는 80C196MH를 주 CPU로하는 디지털 제어기로 구성하였으며, 시스템의 운전 형태를 자유롭게 조정할 수 있도록 유연성이 크게 설계하였다. 제

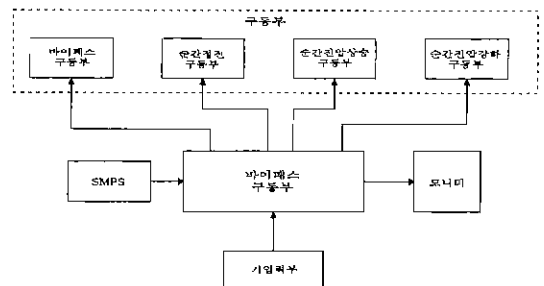


그림 4. 제어부 및 구동부와 주변장치의 블록도.

어기는 상위 시스템과 직렬전송이 가능하도록 구성하는 한편, 시험장치 자체만에 의해 모든 제어를 행할 수 있으며, 동시에 상위 호스트로부터의 지령을 받아 동작하는 등 데이터 교환이 용이하도록 하였다.

그리고 구동부는 상기 제어부의 제어신호에 따라 바이패스 스위치를 구동하는 바이패스 구동부와, 분기 조정부의 각 사이리스터 스위치를 온/오프 조합 구동하여 순간정전, 순간 전압상승 및 순간 전압강하를 일으키도록 하는 순간정전 구동부, 순간전압상승 구동부 및 순간전압강하 구동부로 구성되어 있다. 순간정전 구동부는 변압기들의 2차측이 단락되어 순간정전이 되도록 사이리스터 스위치를 구동 - 모든 사이리스터 스위치를 오프 상태로 구동하여 2차측을 단락하는 것이고, 순간 전압상승 구동부와 순간 전압강하 구동부는 각각 제어부의 제어신호에 따라 사이리스터 스위치를 온/오프 조합 구동하여 변압기의 2차측 전압을 순간적으로 상승 또는 하강되도록 하는 것이다.

2-4. 보호장치부

전압가변 시험장치의 모든 보호장치는 오동작을 방지하기 위해 서로 보호협조가 되도록 감안하고 모의 부하 시험장치로 하여금 주변기기의 동작에 지장을 초래하지 않도록 설계하였다 먼저 과전류 보호 장치는 한시특성을 갖는 과전류 검출회로를 부가하여 과전류 검출시 신호를 주 제어기로 송신하여 적절한 시스템 보호 기능이 동작하도록 하였다. 써지 흡수장치는 시험장치의 디지털 제어 회로부에 써지 보호회로를 구비하였으며, 각종 퓨즈는 용단시는 마이크로 스위치가 작동하여 표시등이 점등하여 고장 개소의 확인이 용이하도록 하는 한편 그 신호를 감시제어설비에 보낼 수 있는 장치를 구비하도록 설계 제작하였다. 또한, 주요부에 온도감지 센서를 설치하여 보호장치와 감시제어를 위한 송신장치(Transmitter)를 설치하였다.

바이패스는 시험을 할 경우 사고 전류가 매우 크게 흐르므로, 사고 전류가 곧바로 사이리스터 스위치를 통하여 흐르게 되면 사이리스터 스위치가 파손된다. 따라서 시험을 하기 위하여는 바이패스 스위치를 온 시킨후 시험하여 시험장치를 보호할 수 있게 하였다.

2-5. 그의 기타장치

그 외 시험장치에는 전압 검출기로부터 검출된 신호의 전압 및 전류를 아라비아 숫자로 표시하는 전압 표시창, 기본 전원의 투입 및 차단을 표시하는 전원램프, 각종의 모드를 선택한 후 지정하면 어떤 모드인지를 표시해주는 램프들, 순간정전, 순간전압상승 하강 등 각종 현상의 결과를 외부 출력장치로 연결시켜 주는데 필요한

통신장치 연결부분, 비상시에 긴급차단에 필요한 비상스위치, 각종 모드를 선택하는 선택스위치, 모드가 선택되면 모드를 고정시키는 스위치, Local/Remote 스위치, 운전 및 정지 스위치, 바이패스 선택 스위치 및 동작주기 설정 스위치도 포함되어 있다.

3. 시험장치의 운전 알고리즘

전압 가변 시험장치의 동작은 그림 5의 각종 모드 운전 에 대한 운전방법을 지시하는 흐름도에서와 같이 전자개폐 스위치와 전원공급기를 온 시킨 후 정상 상태 운전 중에, 모드 고정 스위치를 동작시킨 후 모드 선택 스위치를 반복하여 동작시켜 원하는 전력품질 변경 모드, 예를 들어 순간정전(순간전압상승, 또는 순간전압강하 모드)를 설정하고 선택모드 표시램프들 중 설정된 순간정전 모드에 해당하는 램프의 점등을 확인한다. 이어 동작주기 설정 스위치를 가변하여 순간정전 모드의 원하는 동작시간(0~10 사이클 또는 필요시 변경가능)을 설정하고, 모드고정 스위치를 재차 동작시켜 모드를 고정시킨다.

다음, 운전 스위치를 동작시키면 일정시간 후에 설정된 사이클 동안 모드 동작 후 정상운전 복귀하는 바, 운전 스위치 설정시 제어부는 순간정전 구동부에 순간정전 제어 신호를 인가하고, 이때 순간정전 구동부는 제어신호에 따라 전 사이리스터 스위치(Thy1~9)를 오프 구동하여 변압기들의 2차측이 단락 되도록 함으로써, 순간정전 모드를 상기 설정된 주기 동안 수행한 후 정상

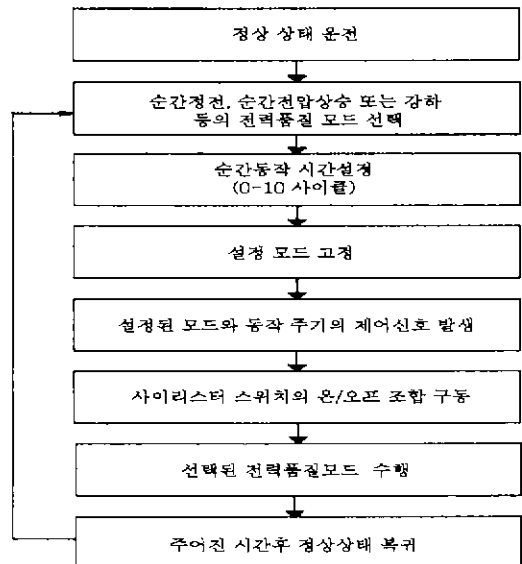


그림 5. 전압 가변 시험장치의 운전 알고리즘.

운전 상태로 복귀한다.

전력품질 변환 시험을 종료 하고자 할 경우 키입력부의 정지스위치 누르고 개폐스위치 및 전원 공급기를 오프시킨다. 또한, 순간 정전의 구현과 마찬가지로 그림 5의 흐름도의 두번째~네번째 단계에서 순간전압상승 또는 순간전압강하 모드의 선택, 주기설정 및 모드 고정을 수행한 후 운전 스위치를 설정하면, 제어부는 순간전압상승 구동부 또는 순간전압강하 구동부에 전압상승 또는 강하 제어 신호를 인가하고, 이때 순간 전압상승 구동부 또는 순간 전압강하 구동부는 각각 상기 제어부의 제어 신호에 따라 사이리스터 스위치를 온/오프 조합 구동하여 변압기의 2차측 전압을 순간적으로 상승 또는 하강되도록 함으로써, 순간전압상승 또는 하강 모드를 설정 주기 동안 수행한 후 정상 운전 상태로 복귀한다.

또한, 정상 상태 운전 또는 전력품질 변환 모드를 수행하는 중에, 키입력부의 바이패스 선택 스위치를 설정하면 제어부는 바이패스 스위치에 제어 신호를 인가하여 개폐스วิต치를 통한 입력 전원의 변환 없이 출력측으로 바이패스 되도록 한다.

그리고, 정상 상태 운전 또는 전력품질 변환 모드를 수행하는 중에, 전압 검출기 및 전류 검출기에 의해 출력 전압 및 전류를 검출하고, 이 검출된 출력 전압 전류를 A/D 변환기와 상기 제어부를 통하여 디지털 처리한 후 표시기의 전압 표시창과 전류 표시창에 아라비아 숫자로 표시하여 줌으로써, 배전 계통에 입력 제공되는 전압·전류와 이 입력 전원에 대한 배전계통의 상태 변화 등을 감시하여, 전력품질 변화에 대한 제반 대책을

수립할 수 있다.

4. 전압 가변 시험 및 검토

4-1. 시험 계통 회로도

그림 6은 신 에너지 전원이 기존의 배전 계통과 연계되어 있고, 여기에 본 논문의 전압가변 시험장치를 접속한 시험계통 회로도이다. 이 시험계통은 기존의 22.9 kV의 배전 선로에서 전력을 공급받아 6.6 kV로 Y-Δ 가변하여 개폐 스위치를 거쳐 다시 380 V로 Δ-Y 강압 변압을 거쳐서 가변모의 부하장치에 이르는 시험용 선로에, 병렬로 신 에너지 전원이 연계되어 있으며, 신 에너지 전원 계통 연계부분 바로 직전에 본 논문의 전압 가변 시험장치를 직렬로 연결되어 있다. 이렇게 구성된 시험계통 회로에서 전력품질 변환 시험은 전력신로를 통한 3상 AC 전압 380 V를 입력으로 연결한 후, 전자 개폐스위치 및 전원 공급기를 온 시키면서 시작된다.

4-2. 전압 가변 시험 결과

앞의 3절에서 설명한 운전 알고리즘의 순서대로 정상 상태 운전 또는 정상입력의 임의의 약 16 ms 동안 각각의 전력품질 변환 모드를 수행하는 중에, 그림 6에 표시한 위치에서 출력 전압 및 전류를 측정하여 다음의 그림 7~15에 나타내었다.

4-3. 시험결과 분석

그림 7은 위의 전압 가변 시험 계통에서 순간 정전

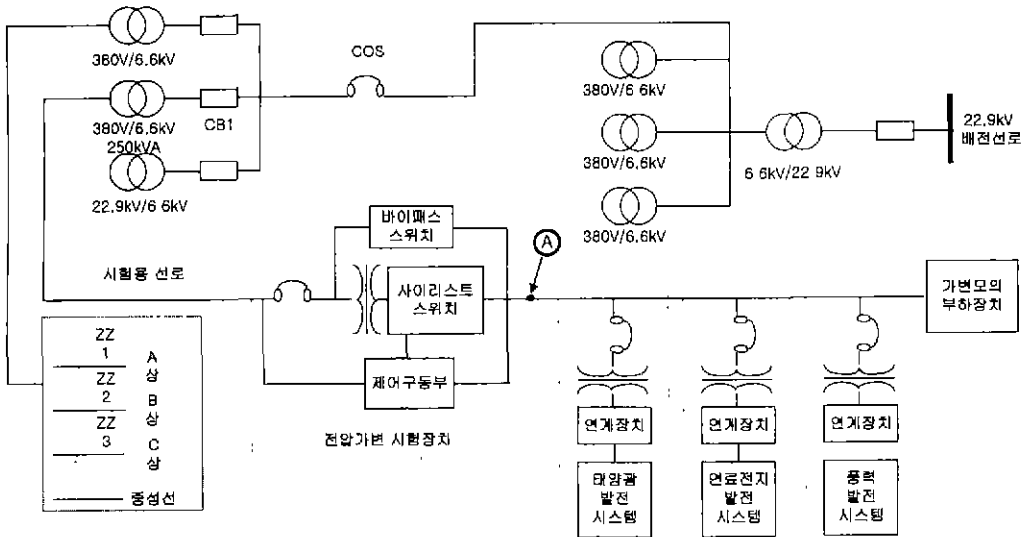


그림 6. 전압가변 시험장치의 전력품질 시험 계통 회로도.

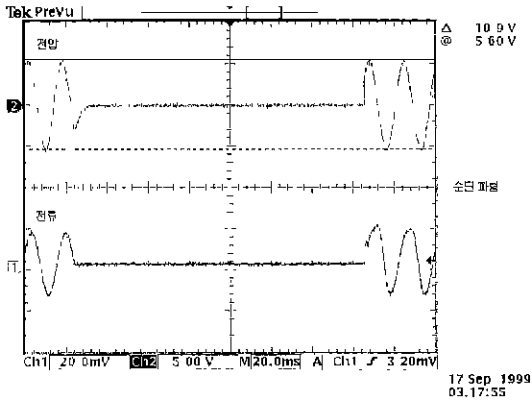


그림 7. 순간 정전 시험시 전압·전류 파형.

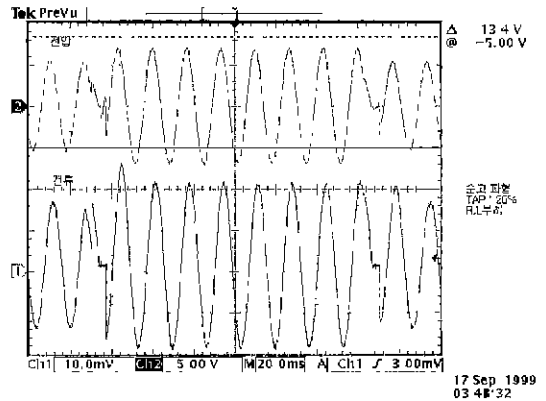


그림 10. 순간 전압상승 시험시 전압·전류 파형(TAP: 20% R, L 부하).

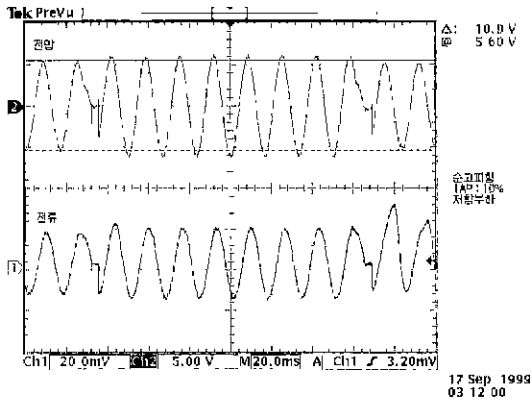


그림 8. 순간 전압상승 시험시 전압·전류 파형(TAP: 10% R-부하).

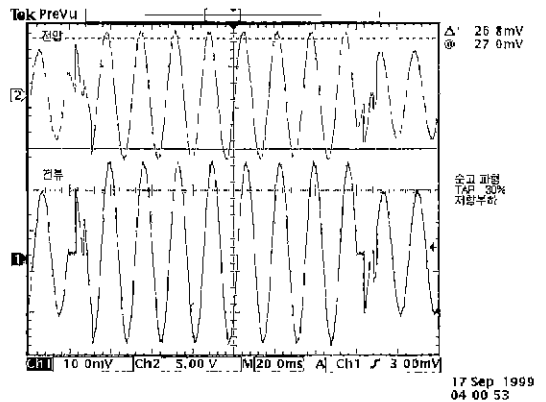


그림 11. 순간 전압상승 시험시 전압·전류 파형(TAP: 30% R 부하).

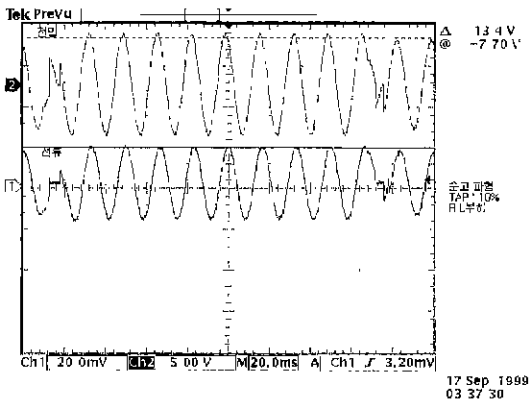


그림 9. 순간 전압상승 시험시 전압·전류 파형(TAP: 10% R, L 부하).

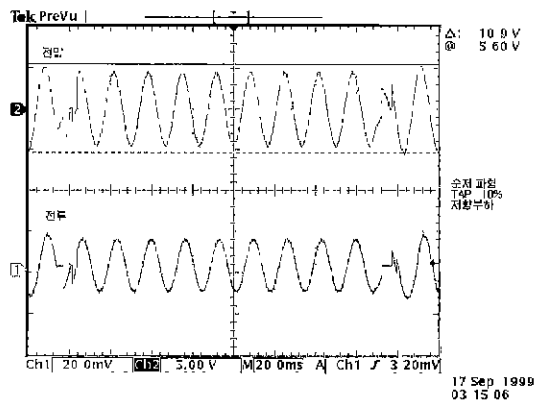


그림 12. 순간 전압강하 시험시 전압·전류 파형(TAP: 10% R 부하).

시험을 실시하며 전압·전류 파형으로 순간단락 시험을 한 결과 파형으로 설정된 시간동안 정상적으로 순간단락이 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 그림 8~12는 각각

10%, 20%, 30%의 탭으로 순간 전압상승 시험을 한 결과이다. 여기서 부하는 각각 저항부하와 실제부하가 되

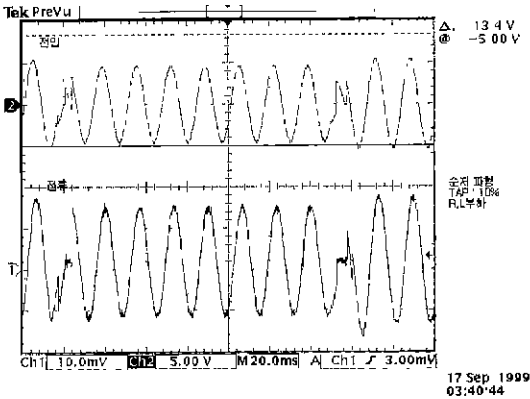


그림 13. 순간 전압강하 시험시 전압·전류 파형(TAP: 10% R, L 부하).

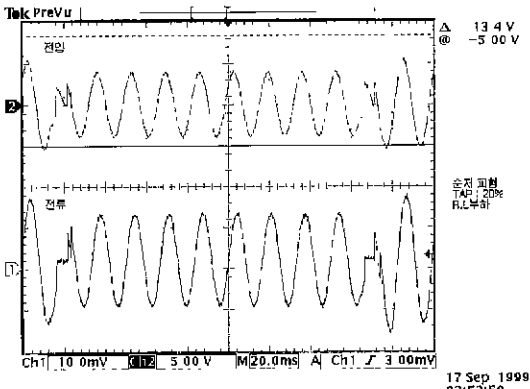


그림 14. 순간 전압강하 시험시 전압·전류 파형(TAP: 20% R, L 부하).

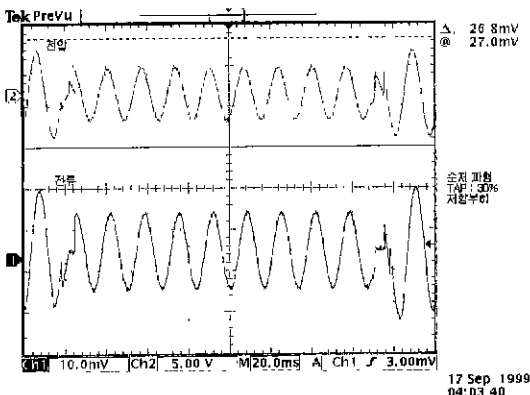


그림 15. 순간 전압강하 시험시 전압·전류 파형(TAP: 30% R 부하).

는 유도성(R·L) 부하 상에서의 시험장치의 정상적인 동작 여부를 판단하기 위하여 R·L 부하로 구분하여 시

험하였다. 각 각의 전압·전류의 파형에서 본 시험장치가 탭에 의한 순간전압 상승율의 변화와 부하특성에 영향을 거의 받지 않고 설정된 시간동안 정상적으로 순간전압 상승 동작을 하고 있음을 볼 수 있다.

그리고 그림 12~15는 순간 전압 강하 시험을 한 결과이다. 이 시험에서도 순간 전압상승 시험과 마찬가지로 탭을 3단계에 걸쳐 조절하고 부하를 저항부하와 유도성 부하로 나누어 시험하였다. 시험 결과 설정시간 동안 정상적인 순간전압 강하 동작을 함을 확인할 수 있었다.

다만 탭의 변화율이 증가할 수록 유도성 부하에서 정상상태로의 복귀 동작시점에서 전류의 과도현상이 나타나고 있으나 보호장치에 의하여 차단할 수 있으며 우려할 사항이 아니라고 판단되며 이후 정상전압으로 단시간 내에 자동 복귀하였고 시험장치는 정상적인 동작을 하고 있다.

5. 결 론

국민 생활수준 향상에 따른 전력소비량의 증가와 환경문제, 에너지 고갈 문제 등으로 신 에너지 전원의 필요성과 경제성 확보 차원에서 기존의 배전계통과 신 에너지 전원의 실제 양방향 연계 운전의 개발과 실용화가 증가하고 있다. 그러나 이 두가지 전원 계통의 연계함에 있어서 그 시기나 혹은 빈도를 예측하기 힘든 순간정전, 순간전압상승 및 강하 등의 전압가변 현상의 전력품질 변화에 따른 문제점과 그 영향 전계통에 미치는 영향에 대한 기술적인 검토와 사전 대처방안의 모색이 이루어지지 않고 있다

본 논문에서는 이러한 기술적 검토와 사전 대처방안을 모색할 수 있는 환경을 마련하기 위하여 신에너지 전원이 연계되어 있는 배전계통 상에서 전압가변 현상을 발생시키고 특정시간 후에 다시 원상으로 회복시키는 전원의 전압가변 시험장치를 개발하여 실제 배전계통에 적용하여 순간정전, 순간전압상승 및 강하 시험을 실시하여 각 시험조건에 상응하도록 시험장치의 정상적으로 동작함을 확인하였다.

전원의 전압가변 시험 장치 및 동작에 의하면, 각종 신 에너지 전원을 포함한 신 배전계통의 신뢰성을 실질적인 선로 환경 하에서 전력품질 변화에 대해 시험 검증할 수 있고, 전력사고의 대부분을 차지하는 순간 정전, 순간 전압 상승, 및 순간 전압 하강 등의 발생 시 해당 배전 계통의 문제점을 시험 검증하여 사전에 대처할 수 있게 하고, 신 에너지 전원의 표준화 작업 및 보급 지원 정책을 수립할 수 있고, 고 유연성, 고 신뢰도, 에너지 이용 합리화 및 부하 평준화 능력을 갖춘 차세대 배전 계통을 구성할 수 있도록 하는 파급효과가 있으리

라 본다

참고문헌

1. Dugan, R.C., Mark. F. McGranaghan and Wayne Beaty, H.: "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, pp. 9-80 (1996).
2. Math, H. and Bollen, J.: "Fast Assessment Methods for Voltage sags in Distribution Systems", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 32, No. 6, pp. 1413-1423, November/December (1996)
3. Warren, C.M.: "The Effect of Reducing Momentary Outages on Distribution Reliability Indices", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No. 3, pp. 1610-1617, July (1992).
4. ANSI Standard for Electric Power Systems and Equipment - Voltage Ratings (60Hertz), ANSI Standard C84.1-1989.
5. Ward, J. *et al.*: "Power Quality Two Different Perspectives". IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 5, No. 3, pp. 1501-1513, July (1990).
6. Lamoree, J. *et al.*: "Voltage Sag Analysis Case Studies", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, No. 4, pp 1083-1089, July/August (1994)
7. Contrad, L., Little, K. and Grigg, C.: "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)