

154kV 송전선로 자동절체 시스템

김태원 · 정상진 · 박성택 · 추진부

한국전력공사 전력연구원

1. 서론

도시와 도시간, 지역과 지역을 연결하는 송전계통은 사고시 배전계통과 달리 지역과 도시간을 포함하는 대정전을 유발할 수 있으며, 대규모 전력수송이라는 측면에서 볼 때, 무정전을 원칙으로 운용되고 있다. 그러나 도시의 팽창화에 따른 부하의 밀집과 발전소의 지역간 편중에 따른 일부 계통의 과부하 운전 등으로 도시간 부하안배에 따른 전력수송 문제는 갈수록 어려워지고 있는게 사실이다. 우리나라 전력계통은 345kV 계통은 부하수송의 고신뢰성을 유지하기 위하여 환상망으로 운용하고, 154kV계통은 지역에 따라 고장전류의 증가와 차단 용량을 고려하여 방사상으로 운전함을 원칙으로 하고 있어 154kV 방사상 선로로 공급되는 전력은 환상망(Loop) 운전계통보다 공급신뢰도가 훨씬 떨어지는 실정이다. 현재의 계통확장 추세로 나가면 '98년 기준 144개소가 차단용량이 초과할 것으로 예상되며, 이에 따른 대응량 차단기 도입이 필요하고 계통 유지비용은 더욱 상승할 것으로 추측된다⁽¹⁾. 이번에 전력연구원에서 새로이 개발한 154kV 송전선로 자동절체 시스템(Automatic Power Reconfiguration System)은 154kV 방사상 계통의 신뢰성 확보라는 큰 난제를 해결한 셈이다. 송전선로 자동절체 시스템은 양 전원단을 가진 방사상 계통에서 불의의 사고로 인하여 정전사고가 발생하면 사고선로와 정전구간을 스스로 판단하여 고장구간을 자동으로 분리하고 부하부담이 적은 다른 선로

로 자동절체 함으로써 전력공급루트를 재구성해주는 것으로서 대용량 선로에 처음으로 시도되는 세계 최초의 첨단설비이다. 이 시스템의 개발로 환상망 구성시 발생할 수 있는 대용량 차단기를 도입할 필요가 없어지고 기존의 차단기를 그대로 사용함으로써 계통운전유지비를 대폭 절감할 수 있으며, 중전의 운전원이 수동으로 복구 조작시 수십분이 걸렸던 정전시간을 3초 이내로 줄임으로서 지장전력량을 획기적으로 줄여 회사의 판매 수익에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

2. 시스템의 구성 및 동작개요

다음 그림 1은 송전선로 자동절체 시스템의 전체적인 동작을 도식적으로 나타낸 것이다.

송전선로 자동절체시스템은 Hardware와 Software 두 가지로 구성되며, Hardware로는 현재 서울전력 지역급전소에 설치되어 있는 사람의 두뇌에 해당하는 절체 알고리즘을 내장한 APRS 주장치와, 서소문, 신촌, 신당, 마장변전소에 설치된 Data 취득장치(Data Acquisition System)로 이루어져 있다.

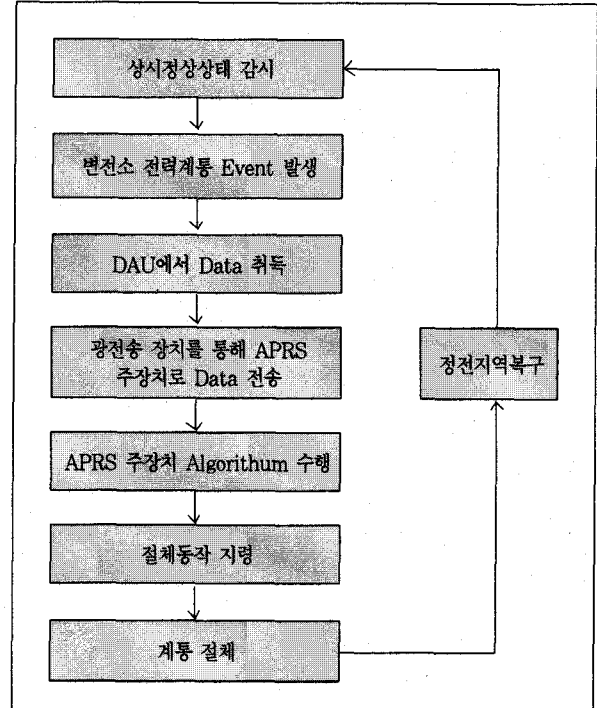
3. 자동복구시스템의 알고리즘

실시간 자동복구 시스템은 크게 고장상황 인식과정, 고장구간 판단과정, 고장구간 분리과정 그리고 자동복구 과정의 네 가지 과정으로 나뉘어진다. 각 과정별 설명은 다음과 같다.

가. 고장상황 인식부

(1) 선로고장

선로고장의 인식은 차단기 상태의 변화와 이에 수반되는 계전기의 동작을 이용한다. 계통상태에 대한 Data



〈그림 1〉 송전선로 자동절체 시스템의 전체 동작개요

(Status Data)를 검색하여 차단기의 상태변화가 있었는가를 검색한다. 차단기에 변화가 없다면 이는 계통에 변화가 없었다는 것을 의미한다.

(2) 모선고장

모선보호계전기의 동작은 모선 고장시와 계전기 지령에 대하여 차단기 동작이 실패했을 때(CB Fail) 발생하게 된다.

나. 고장구간 진단

(1) 개요

선로에 고장이 발생했을때 고장선로(고장구간)가 어느 것인지를 찾는 개념은 다음과 같다. 우선 동작된 보호계전기에 대하여 그 보호계전기의 보호범위를 찾아 고장후 보로 둔다. 즉, 후보보호계전기가 동작했다면 후보보호계전

기의 보호범위인 선로를 고장후보로 두고 후비보호 계전기가 동작했다면 후비보호계전기의 보호범위내의 모든 요소를 고장의 후보로 둔다. 다음은 이들 각 계전기를 동작 가능하게 하는 선로인 고장후보들간의 중복구간을 찾으면 그곳이 바로 고장구간이라 할 수 있다. 고장구간 진단의 유형은 다음과 같다.

(2) 1회선 선로의 고장 또는 2회선 중 1회선 정지중인 때의 선로 고장

1회선 선로의 고장이나 2회선 중 1회선이 정지중인 때의 선로 고장은 중복구간이 없어도 고장구간으로 인식한다.

(3) CR(PW) 정보의 이용

CR(PW) 동작정보를 이용하여 CR(PW)가 동작한 선로는 고장범위에서 제외한다. CR가 Blocking Signal을 방출했다는 것은 그 선로 밖에 고장이 났다는 것을 의미하기 때문이다.

(4) 다중고장

다중고장의 경우는 트립된 어느 차단기의 보호범위가 트립된 또다른 차단기의 보호범위와 중복되지 않는 경우가 발생한다. 이 경우 타계전기의 보호범위와 중복이 가능한 것끼리 묶어 중복구간을 구하면, 선로(구간)가 도출되고 이들 각각은 다중고장으로 인하여 발생한 고장구간이라 할 수 있다.

다. 고장구간 분리

(1) 개요

고장구간 분리과정은 정전지역의 복구를 위하여 정전지역에 전력공급을 재개할 때, 고장점에 송전을 재개하는 일이 없도록 고장구간을 미리 건전구간으로부터 떼어놓는 과정이다. 앞단계인 고장구간 진단과정에서 도출된 고장구간(선로)의 트립되지 않은 차단기를 개방함으로써 고장구간을 건전계통으로부터 분리할 수 있다.

라. 자동복구 조작

(1) 변전소群的 분류

먼저 고장발생후의 계통을 다음의 3가지 형태의 변전소 그룹들로 분류한다. 여기서 그룹이란 전기적으로 접속된 변전소들의 집합을 의미한다.

그룹의 형태는 세 가지가 있는데 첫째는 Source선로에 접속된 변전소가 두 개 이상 있는 그룹으로 이는 환상망 계통임을 나타낸다. 두번째는 Source선로에 접속된 변전소가 하나뿐인 그룹으로 이것은 방사상 계통임을 나타내고, 세번째는 Source선로에 접속된 변전소가 하나도 없는 그룹으로 이것은 이 그룹의 모든 변전소는 정전되어 있다는 것을 나타낸다.

(2) 복구의 기본개념

정전지역의 부하를 건전계통으로 복구하는 과정은 다음과 같다. 우선, 정전그룹과 건전그룹을 연결하는 선로 및 모선 분리점을 찾아 건전계통과 연결했을 때 선로에 부담을 가장 적게 주는 루트를 선택하여 정전부하를 복구하는 것이다.

(3) 과부하가 예상되는 경우의 동작

- ① 부하 일부만의 복구(일부부하 차단)
만일, 정전변전소가 하나뿐이고 어떠한 건전계통과 접속하더라도 과부하선로가 발생하는 것을 피하지 못할 때는 부하부담이 큰 변압기순서로 복구하도록 한다.
- ② 복수 변전소의 분할복구
다음은 정전지역이 두 개 이상의 변전소인 경우이다. 이 때에는 정전구역을 분할하여 각기 다른 건전그룹으로 연결함으로써 전체 부하 복구를 시도한다.

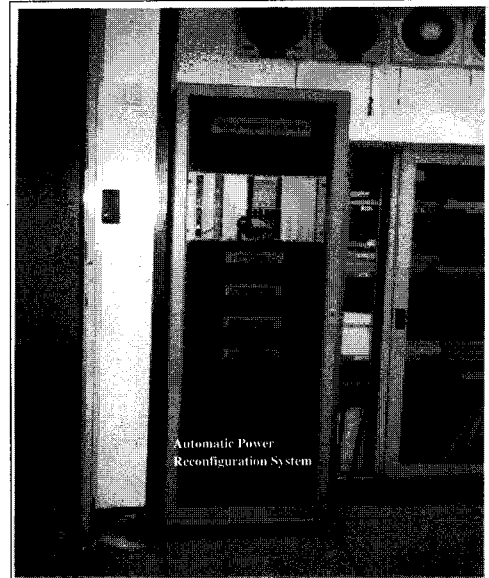
4. Hardware의 구조

APRS 주장치는 통신기능이 보강된 모토로라 68302 CPU Chip을 사용하여 설계되었으며 각 신호가 공유하

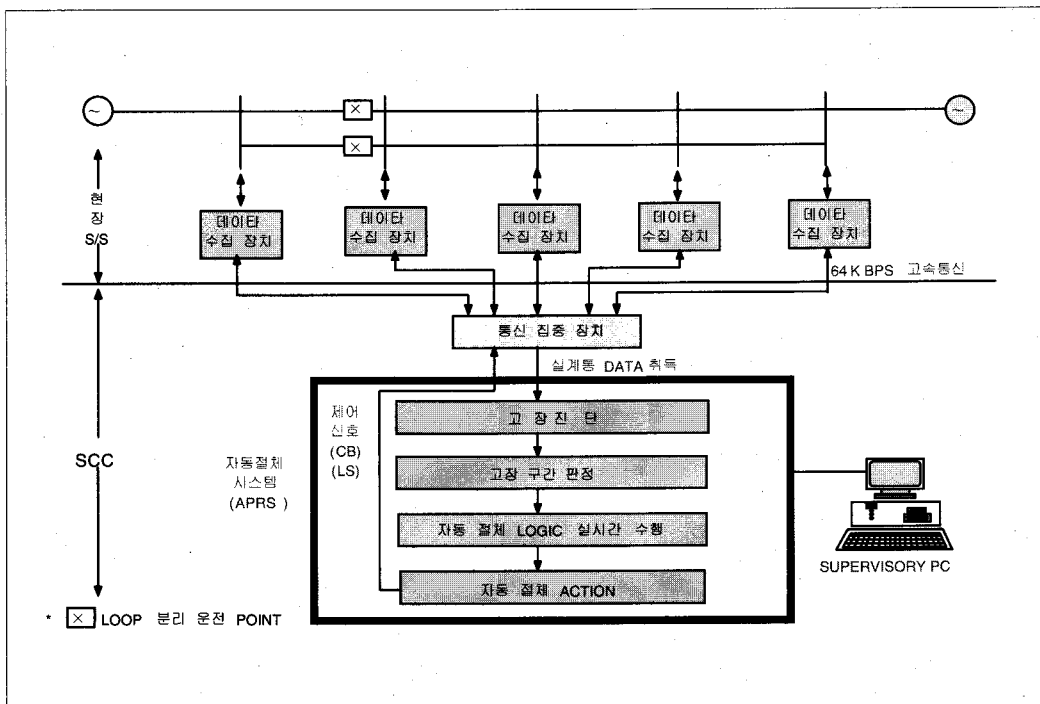
게 될 BUS는 산업용에서 광범위하게 채택되는 VME BUS를 사용하였고 급전소와 변전소간 Data송수신을 위하여 자체 개발한 Protocol을 사용하여⁽²⁾, 전력계통에서 Event발생과 함께 동시다발적으로 발생하는 Data에 대해서도 전송시 Data 병목현상이나 Error Bit의 발생없이 정확한 Data의 전송과 고속 송수신이 가능하도록 하였다(그림 2 참조).

Data 취득장치와 APRS 주장치간 상호 Data 송수신은 DSU(Data Service Unit)를 사용하여, 56Kbps로 KD4와 Interface시켜 광전송장치(FT3C/MX13)를 통해 고속으로 Data를 송수신토록 하였다(그림 3 참조).

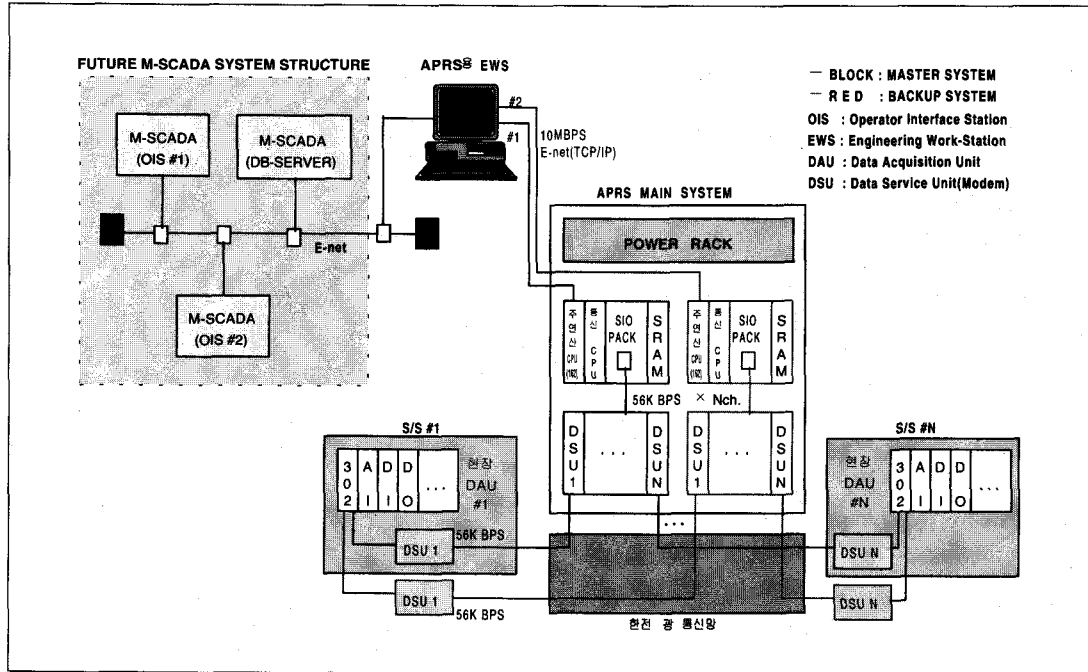
각 변전소에 설치된 Data취득장치는 기존의 전력시스템에 주는 영향을 최소화하기 위하여 보조Relay 패널을 제작하여 현장에서 APRS용 접점을 별도로 연결하는 방



〈그림 2〉 송전선로 자동절체 시스템 주장치



〈그림 3〉 송전선로 자동절체 시스템의 Data흐름도



〈그림 4〉 송전선로 자동절체 시스템의 전체구성도

식을 택하였으며, Data 취득장치에 입력되는 계통의 정보로는 154kV계통의 선로와 변압기측 전압, 전류 등 조류Data 뿐만 아니라, 각 보호계전기의 신호들을 구분하여 입력함으로써, 변전소의 특성에 따라 각 모선별 교대 운전시에도 변전소내 운전상태 변화에 따라 정확한 절체 동작이 가능하도록 설계되었다. 그림 4는 송전선로 자동절체 시스템의 전체적인 구성도를 나타낸 것이다. 그림 4와 같이 전체적인 시스템의 구성은 현재 운용중인 SCADA 시스템과의 연계를 고려한 통합적인 형태의 설비가 되도록 SCADA 시스템을 반영하여 상호 Interface가 가능하도록 공유 가능한 정보를 면밀히 분석하여 설계함으로써 앞으로의 연계에 대해서도 대비하였다.

APRS 주장치에 내장된 송전선로 자동절체 알고리즘은 프로그램 동작속도를 감안하여 C언어를 사용하여 구성하였으며, 광역으로 분포하는 각 변전소의 변압기, 송전선로, 차단기, LS, PT의 계전기 또는 Meter에서 입

력된 신호를 종합판단하는 알고리즘으로 구축되어 유연성을 고려한 범용 Package의 개념을 도입하여 설계하였고⁽³⁾, 우리 전력계통의 실제운전상황을 고려하여, 숙련된 운전원의 조작 상황을 고려한 최적의 절체가 되도록 하였다.

5. 시험 및 운용

또한 현장에서 실제운용중인 전력설비에 적용하기전 시스템의 정상적인 동작을 확인하기 위하여 전력연구원에서 보유하고 있는 전력계통 모의 시험장치인 실시간 Digital Simulator(Real Time Digital Simulator)에 연결하여 실제 설비가 설치될 전력계통(신촌, 서소문신당, 마장변전소)을 정밀하게 모델링하여 현장과 똑같은 시스템에서 실험을 진행하였다⁽⁴⁾. 이 시험을 통하여 APRS 주장치와 Data취득장치간 송수신 Data의 정확

성과 모의계통에서 각 상황별 시나리오에 따라 송전선로 자동절체 동작 알고리즘이 과부하나 오동작없이 정확하게 동작하는지를 검증하여 실제 현장에 설치되기 전 시스템에서 발생가능한 모든상황을 40일 동안 모의하였다. 이 시험에서 자동절체시 과부하 또는 오동작없이 정확하게 동작되는 APRS성능을 확인하였고, 계통에서 일어날수 있는 최악의 상황(Zone2, Zone3 등의 과급사고)에 대해서도 공급계통을 최적의 루트를 선정하여 과부하나 정전구역의 발생없이 완벽한 절체동작이 이루어지는 것을 확인하였다(그림 5, 6 참조).

그림 7은 실제계에 운전중인 송전선로 자동절체 시스템의 Host Screen에 나타난 실제계에 대한 운전정보로서 각 선로의 조류상태와 변압기의 부하상태, 그리고 차단기 및 DS의 ON/OFF 상태를 나타내고 있다.

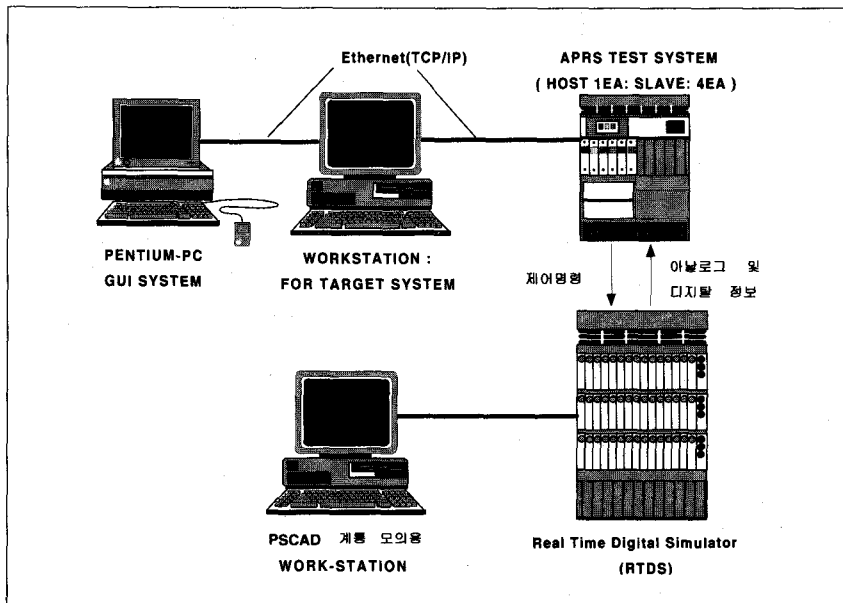
그림 8은 신당변전소측 신당 #1, 2T/L이 초기 Open된 상태에서 신당-마장변전소 간 계통에서 신마 #1T/L이 Trip되고, 신마 #2T/L이 Backup Trip되어 신당변

전소측이 정전이 된 상태이며, 그림9는 초기상태 Open인 신당 #1, 2T/L의 차단기를 ON시켜 정전구역을 복구한 것을 나타낸다.

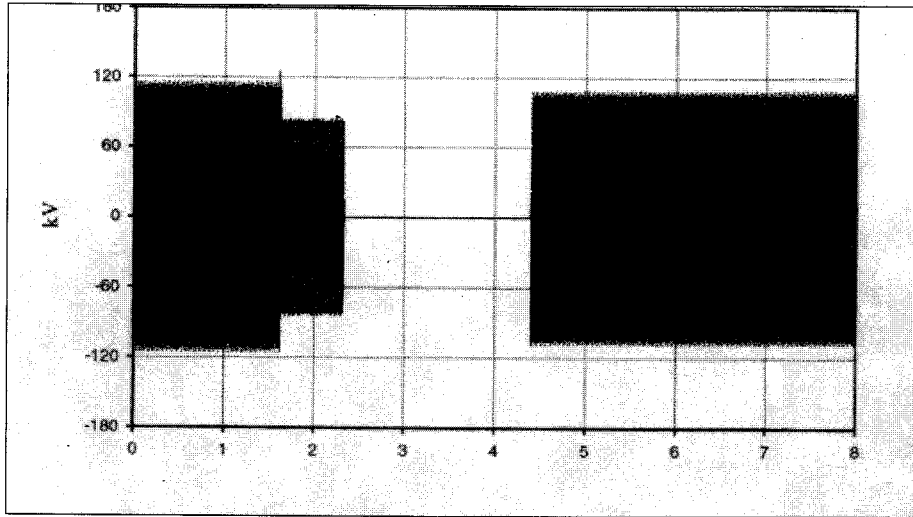
또한 현장 설치 작업전 해당변전소를 수회 방문하여 현재 운전되고 있는 각 전력설비의 도면과 현장설비를 정밀히 검토하여 정보를 읽어올 각 접점의 사용유무와 설치시 해당변전소의 여건을 고려한 적절한 설비배치를 통해 변전소의 설비운용에 최적의 편리성을 도모하였다.

6. 향후 추진방향

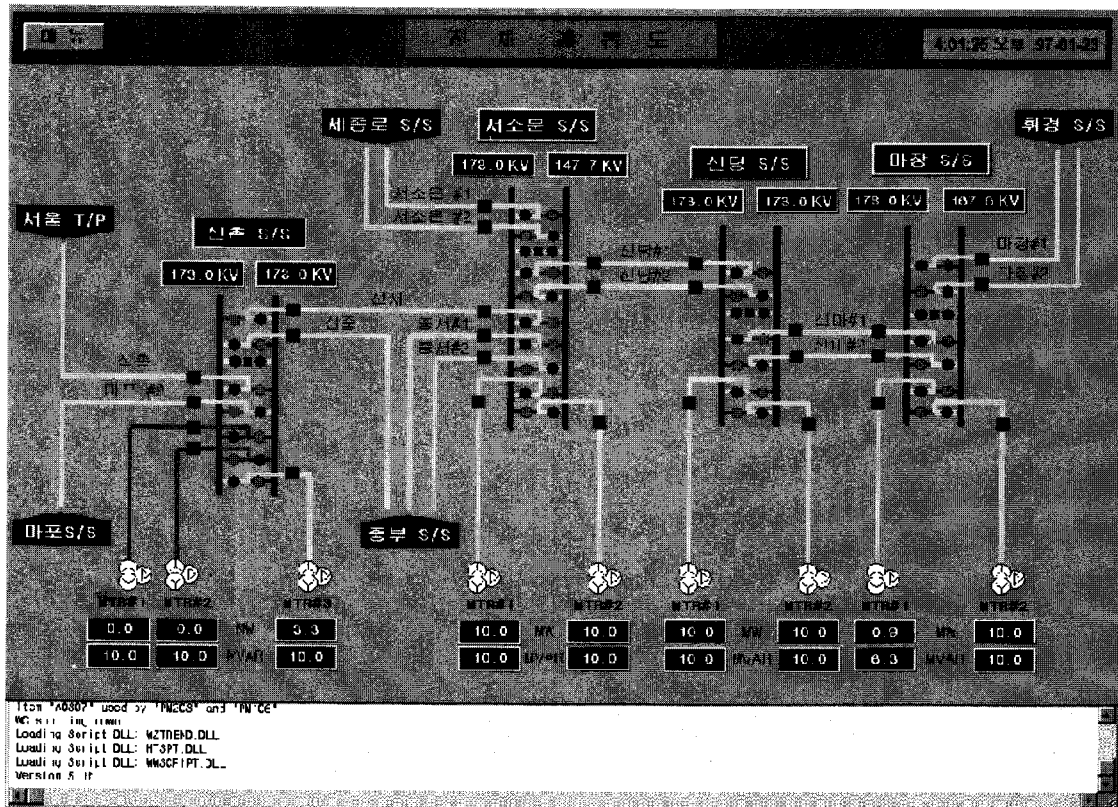
현재 이 시스템은 서울전력관리처 관내에 설치 완료하여 시험운전중에 있으며, 상업화 및 실용화를 위한 시범 과제로 채택되어 금년 5월경에 과제에 착수할 예정이다. 이번 실용화 과제를 통해 시스템을 표준화하고, Proto Type으로 설계된 시스템을 다양한 모든변전소에서 사용



〈그림 5〉 RTDS시험의 시스템 구성도



〈그림 6〉 RTDS 계통모의사고 동작결과



〈그림 7〉 Host Screen에 나타난 계통정보

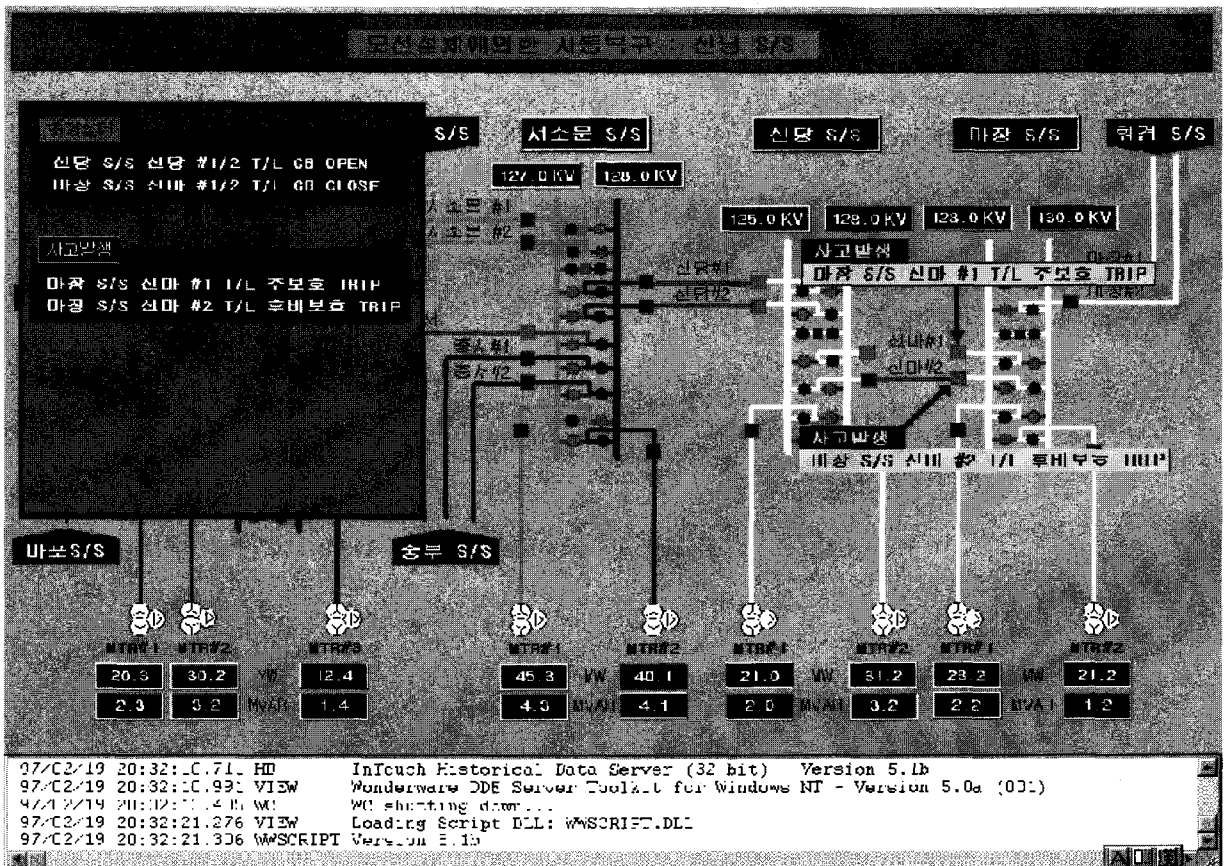
~• 기술동향

가능한 형태로 범용화할 계획이며, 운전지원능력을 강화하여 모의 사고에 대한 계통예측 및 조류검토 등이 가능하도록 할 예정이며, 각 변전소에 다양하게 널려있는 자동화 관련 시스템에 대한 면밀한 분석을 통해 통합적인 시스템의 구축을 위한 기초적인 연구도 함께 수행될 예정이다.

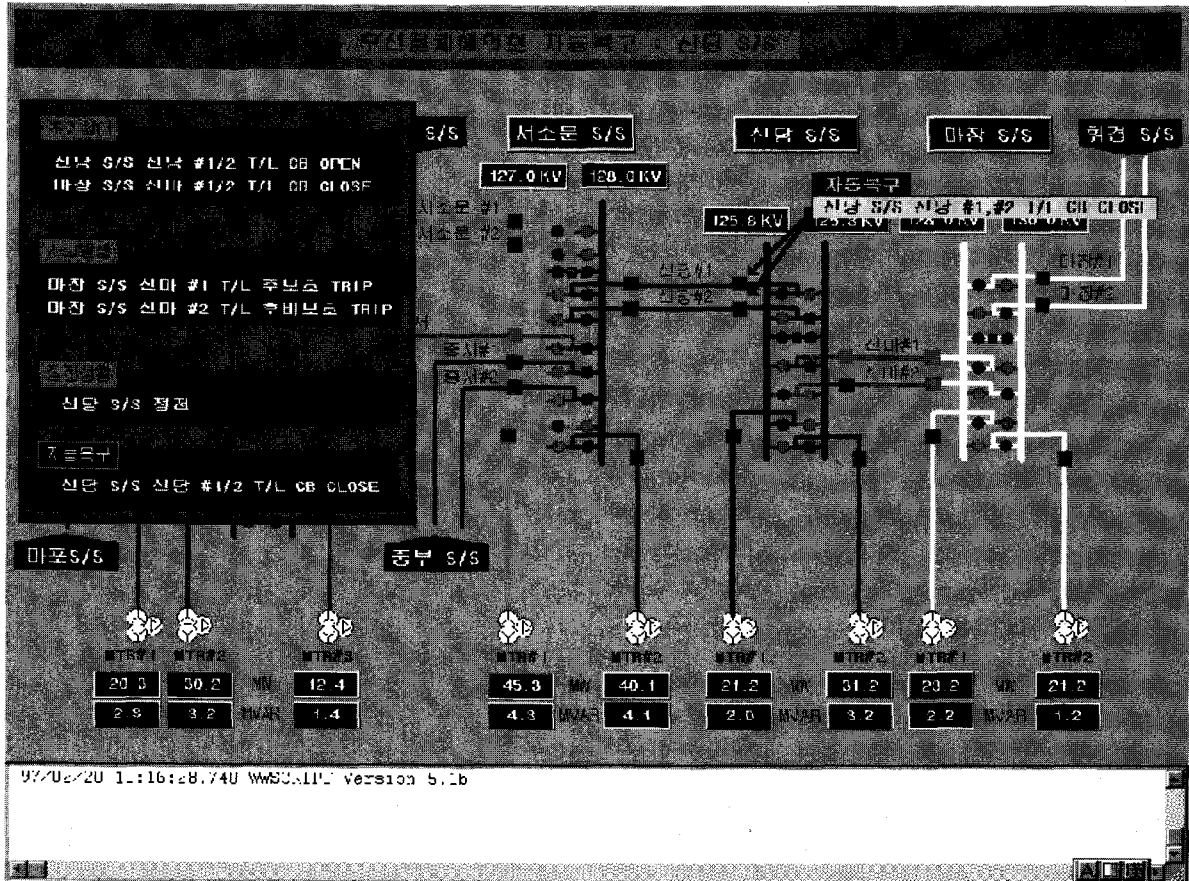
7. 결론

154kV급 이상의 대규모 실계통에서 세계최초로 실용

화에 성공한 송전선로 자동절체 시스템은 개발시스템의 완성과 함께 국내외적인 비상한 관심을 끌었으며, 금년 1월 22일 개발 시스템에 대한 기술의 독창성 및 산업발달에 기여한 공로로 장영실상을 수상하였다. 개발시스템이 점차 확대적용되게 되면 154kV 방사상 계통의 신뢰도 향상은 물론 더 나아가 345kV 및 765kV급을 포함한 광역계통 보호제어 시스템의 개발에 기반기술로서 자리잡을 수 있을 것으로 기대되며 154kV 전력계통의 운전 자동화에 대한 실용적인 연구가 급속히 진전될 것으로 기대된다.



〈그림 8〉 사고발생시의 계통정보



◆ 참고문헌 ◆

- (1) 박희우, 김준환, 대화기술단 "154kV 전력계통 방사상 운용방안 수립에 관한 연구", 13-18, 한전 97본사(단)-287 계통운용처, 1997.11.
- (2) Tae-Won Kim "A Study on the Configuration of Communication Network for Remote Control of KEPCO's Power System" 579-582, ISAP97
- (3) 정정원의 4, "154kV 방사상 운전계통에 대한 실시간 고장복구 시스템 개발 I" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 851-853, 1997.
- (4) 김태원, 추진부, 유명호, "RTDS를 이용한 송전선로 자동절체 시스템의 실시간 모의방법", 대한전기학회 추계학술대회논문집, 99-102, 1996

