

配電系統의 停電減少를 위한 專門家 시스템 適用方案

韓國電力公社 內資處 鄭 來 昊
電力經濟研究室(工博) 姜 遠 求
配電研究室(工博) 崔 炳 允

(3)

4. 최적 부하절체 규칙 베이스 구성

일반적으로 배전계통은 선로의 변경이 많고 복잡하게 구성되어 있다. 특히 도심선로는 각 변전소의 여러 배전선들이 서로 절체가 가능하도록 되어 있다. 따라서 부하절체는 각종 조건들을 고려하여 합리적으로 수행하여야 하며 부하예측 프로그램을 호출하여 입력된 기간동안의 부하량을 전부 검토하여야 한다.

부하절체시 검토하여야 할 조건으로는 반드시 만족되어야 할 필수조건과 비교평가기준이 되는 선택조건 등 두가지로 분류된다.

○필수조건

- 절체된 부하량이 변압기의 용량을 초과해서는 안된다.
- 절체로 인하여 증가된 부하량이 전선의 허용전류를 초과해서는 안된다.
- 절체로 인하여 증가된 부하량이 개폐기의 차단용량(또는 최소 트립전류)을 초과해서는 안된다.

○선택조건

- 각 배전선간 적절한 부하배분이 이루어지도록 구성해야 한다.
- 절체된 부하량이 변전소의 릴레이(Relay)나 보호기기의 정정(Setting)치를 초과해서는 안되며 부득이한 경우 정정치의 변경을 제안하여야 한다.
- 가급적 정전 절체보다는 루프절체로 하여야 한다.
- 장거리로 절체할 때는 전압강하를 고려하여야 한다.
- 특정 중요수용가의 전력 공급을 고려하여야 한다.
- 개폐기 조작에 따른 이동거리를 최소화하여야 한다.
- 선로와 개폐기의 취약부분을 가급적 제외하여 조작하여야 한다.

부하절체를 시행하는 데는 크게 다음의 두가지의 경우로 구분한다.

정상상태시 부하절체 :

계통을 운용하는 도중 자연적인 부하 증가로 인하여 일부 배전선에 과부하가 발생함으로써 적



절한 부하 배분이 요구되는 경우 부하절체를 수행

과도상태시 부하절체 :

사고나 휴전작업시 어느 구간의 선로를 일정 시간동안 데드상태로 만드는데 있어서 불필요한 정전구간을 줄이기 위하여 부하절체를 수행

위의 경우 부하절체 방안을 검토하는 기준은 정상상태와 과도상태가 다르게 설정되어야 한다. 그 이유는 정상상태의 경우 장기적인 안목에서의 검토가 필요하며 과도상태의 경우는 응급조치의 개념에서 부하절체가 수행되어야 하기 때문이다.

본 방안에서는 부하절체시 검토하여야 할 필수조건으로는 변압기 용량, 선로의 허용전류, 개폐기의 트립전류를 고려하였으며 선택조건으로는 전압강하와 손실을 고려하였다.

4.1 1회 부하절체방안 추적규칙

배전계통의 부하절체방안을 도출하기 위해서는 계통의 흐름을 정확히 인식하여야 하며, 원하는 정전구역이 정해지면 계통상의 부하절체가 가능한 개폐기를 계통도에서 전부 찾아서 절체시에 발생하는 모든 문제점을 검토하여야 한다.

본 방안에서는 추적규칙을 통하여 부하절체방안을 찾는 새로운 형태의 규칙 베이스를 개발하였으며, 이 방법은 다중정전구역이 발생하여도 선로 상호간 미치는 계통 흐름상의 영향을 고려하여 다각적인 부하절체 방안을 제시할 수 있는 장점을 지니고 있다.

다음은 부하절체 방안을 도출하는 규칙 베이스의 예이다.

(RULE 1) 원하는 정전구역의 중단 개폐기(정전구역을 표시하는 개폐기)를 모두 차단한다.

(RULE 2) 정전구역의 개폐기중 전원측에 연결되어 있는 개폐기를 찾는다(이 개폐기 방향은 전원측에 연결되어 있으므로 부하절체가 불필요

하다).

(RULE 3) 전원측 정전구역 개폐기를 투입하여 부하측 정전구역 개폐기를 찾고 정전구역 부하측 개폐기별로 부하절체 방안을 검토한다.

(RULE 4) 부하측 정전구역 개폐기를 투입하고 그 방향으로 선로를 추적하여 핫 상태의 다른 피드와 연결된 오픈상태의 개폐기를 찾는다(이 개폐기가 그 방향으로 부하절체가 가능한 절체 개폐기이다).

(RULE 5) 정전구역의 부하측 개폐기로부터 정전구역의 부하측 개폐기마다 절체할 부하량을 계산하여 별도의 데이터 베이스에 저장한다.

(RULE 6) 각 절체개폐기마다 그 방향으로의 절체전과 후의 전압강하 및 손실차이를 계산하여 별도의 데이터 베이스에 저장한다.

(RULE 7) 각 절체개폐기마다 절체할 피더 방향으로 추적하여 선로의 보호기기와 해당 피더 유입차단기를 찾아내고, 해당 보호기기의 트립 전류와 절체후 최대 부하전류를 별도의 데이터 베이스에 저장한다.

(RULE 8) 각 절체개폐기마다 공급되는 변전소의 공급 주변압기를 찾아내어 해당 변압기의 허용전류와 절체후 최대부하전류를 별도의 데이터 베이스에 저장한다.

(RULE 9) 정전구역의 모든 부하측 개폐기에 대해 (RULE 4) - (RULE 8)을 수행한다.

(RULE 10) 만일 다중 정전구역으로 인하여 (RULE 4)를 수행중 절체개폐기가 다른 정전구역 개폐기로 확인되면 그 지점에서 (RULE 3)부터 다시 수행한다.

4.2 제한조건 검토규칙

배전계통에서 부하절체는 계통구성에서 가능한 부하절체방안을 종합적으로 검토하여 최적의 부하절체 방안을 제시하는 것이 중요하다. 이러한 검토에 요구되는 항목은 크게 두가지로 분류

된다. 그 한가지는 선로의 허용전류 등 반드시 만족하여야 하는 필수조건과 전압강하 및 손실 등 비교평가를 위한 기준인 선택조건이다.

본 방안에서는 필수조건으로 선로의 허용전류, 보호기기의 트립 전류, 변압기용량을 고려하였고 선택조건으로 전압강하와 손실을 포함하였다. 여러 절체조건을 비교 검토하여 최적의 부하절체방안을 제시하였으며, 만일 1회 절체방안 전부가 필수조건을 만족하지 못하면 2회 절체방안을 검토하도록 구성하였다.

다음은 제한조건 검토 루울의 예시이다.

(RULE 1) 부하절체 후 최대부하 전류는 선로의 허용전류, 보호기기의 최소 트립 전류, 주변압기 허용전류의 80%를 초과하지 않아야 한다.

(RULE 2) 1회 절체방안 모두 필수조건을 만족하지 않으면 2회 절체방안을 검토한다.

(RULE 3) 여러 부하절체 방안중 전압강하와 손실이 가장 적은 방안을 선택한다.

4.3 2회 이상 절체방안 추적규칙

배전계통에서 1회 이상 절체방안 필수조건을 만족하지 못하면 2회 이상 절체방안을 검토하여야 한다. 지금까지 제안된 방법은 임의의 한 절체개폐기를 선정하여 가능한부하량 만큼의 절체구간을 우선 넘겨주고 잔여 절체부하는 나머

지 절체개폐기가 감당하도록 구성하였으나, 이는 처음 기준이 되는 절체개폐기 선정에 따라 평가지표가 달라지므로 최적의 부하절체 방안을 제시하는 데 문제점이 있어 왔다.

본 방안에서는 부하측 정전구간개폐기와 각 절체개폐기 사이의 모든 개폐기를 2회 절체 분기점으로 가정하여 각각의 모든 경우에 대하여 필수조건과 선택조건을 검토함으로써 최적의 부하절체방안을 제시할 수 있도록 구성하였다.

다음은 2회 이상 최적절체방안을 제시하는 규칙 예시이다.

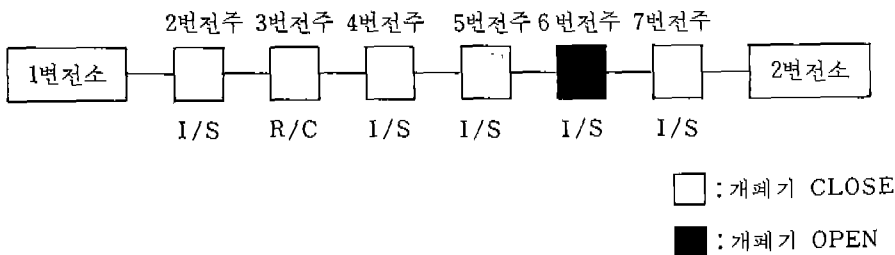
(RULE 1) 부하측 정전구역 개폐기에서부터 부하측으로 계통을 추적하면서 각 개폐기를 2회 절체분기점으로 하는 모든 절체방안을 추출하여 별도의 데이터 베이스에 부하절체에 관련된 모든 정보를 입력한다.

(RULE 2) 선로의 말단이나 오프 상태의 개폐기를 만나면 추적을 중단한다.

(RULE 3) 입력된 부하절체 정보를 기초로 필수조건과 선택조건을 검토하여 최적의 부하절체방안을 제시한다.

(RULE 4) 2회 절체방안에도 필수조건이 만족되지 못하면 (RULE 1) 으로 복귀하여 3회 절체방안을 동일한 방법으로 계속 수행한다.

5. 모델 계통구성 및 적용사례



〈그림 5 · 1〉 모델 계통

5·1 모델 계통구성

본 방안에서 고찰한 방법의 효용성을 입증하기 위하여 한전의 실제계를 기초로 모델 계통을 구성하여 전문가 시스템을 적용하였다.

모델 계통은 그림 5·1과 같이 2개 변전소(Substation) 사이에 개폐기가(Interrupter Switch) 설치된 5개의 전주가 있고, 3번 전주에는 리클로저(자동차단 및 재폐로장치)가 설치되어 있으며, 6번 전주는 절분되어 있다고 가정하여 2~6번 전주사이의 수용가는 1번 변전소에서, 6~7번 전주사이의 수용가는 2번 변전소에서 전원공급을 받고 있다고 가정하였다.

예를 들어 4, 5번 전주사이에 단선사고에 의해 정전이 발생했다면, 3번 전주의 리클로저에 의한 자동차단이 이루어지기 때문에 실제 사고 구간은 4, 5번 전주사이라 할지라도 정전구역은 3, 4, 5, 6번 전주사이의 넓은 지역이 된다. 이때 한전에서는 수용가의 정전에 따른 불편을 해소하고 정전에 따른 전력판매 수입의 감소를 최소한으로 줄이기 위하여 비상대기중인 선로보수원을 현장에 즉각 투입하여 보수작업을 벌이게 되며, 이 작업상황을 총괄 감독하는 역할은 관할 구역의 보선사령(선로운전원)이 담당하게 된다. 또한 보선사령의 임무는 고장요인의 신속제거에 따른 정전구역의 축소와 선로보수 작업중에 발생할 수 있는 선로보수원의 안전사고 방지에 있기 때문에 이를 위해 빠르고 정확한 결정을 여러번 내려야 한다.

따라서 한전의 보선사령은 노련한 경험과 풍부한 실무지식 뿐만아니라 해당 선로구성에 대한 완벽한 지식을 갖춰야 하기 때문에 인간적인 판단착오에 의한 불필요한 정전구역의 확대와 안전사고 요인이 항상 내포되어 있다.

불필요한 정전구역 확대요인을 분석하여 보면, 보선사령의 경험미숙과 판단착오를 들 수 있

며, 또한 배전계통의 특성상 계통이 복잡하고 수많은 개폐기와 선로보호기기(변전소의 Relay, Recloser, Sectionalizer) 등이 부착되어 있고 신규설비 등에 의해 계통이 수시로 바뀌기 때문에 전체계통을 정확히 완벽하게 파악하기란 거의 불가능한 실정이다.

한편 안전사고 요인으로서의 선로보수 작업 중인 선로보수원들의 작업순서와 내용이 실수로 인해 바뀔므로 인한 감전사고가 대부분으로서 이를 방지하기 위해 작업명령을 지시하는 보선사령의 역할은 실로 막중하다 하겠다.

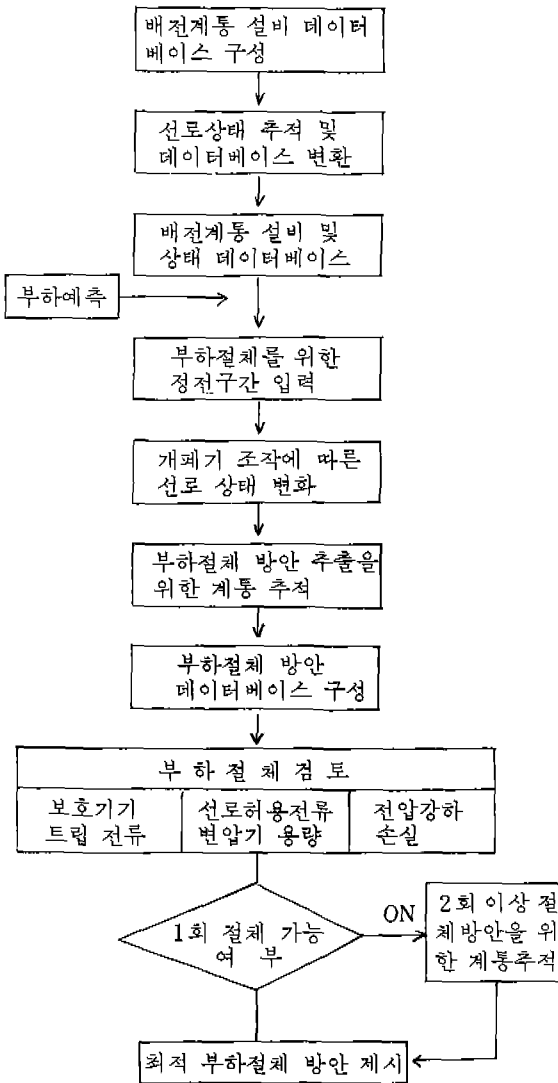
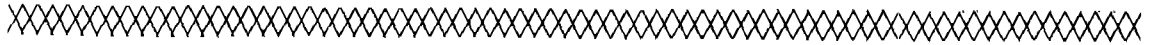
본 방안의 목적은 보선사령의 판단에 조언을 할 수 있는 전문가 시스템에 관하여 고찰 하였으며, 이 시스템 적용에 따라 정전구역의 축소와 안전사고 방지를 할 수 있을 것이다.

본 방안에서는 규칙 베이스 방식인 Prolog 언어를 사용하였는데, 이 언어는 계통추적에 편리한 백워드(Backward) 방식의 추론구조로 되어 있고, 변화하는 데이터량을 유연성을 가지고 운용할 수 있는 리스트 기능을 보유하고 있으며, 깊이 우선(Depth of Search) 방식으로 구성하였다.

본 시스템 개발에 사용된 컴퓨터는 16BIT의 IBM-COMPATIBLE PC를 사용하였고 또한 전문가 시스템은 사용자의 편리성을 충분히 고려하여 구성하여야 하므로 본 방안에서는 사람 기계 연결장치(Man-Machine Interface)를 구성하였다.

이 방식은 사용자가 메뉴얼을 통하여 원하는 부하절체 목적을 제시하면 컴퓨터는 수행 과정에 필요한 정보를 질문과 응답을 통하여 입수한다. 정보의 입력이 완료된 후 자동적으로 최적 부하절체방안을 검토 제시하게 된다.

그림 5·2는 정전지역 축소를 위한 부하절체 전문가 시스템이 수행되는 전체적인 흐름도이다.



(그림 5·2) 최적 부하절체 전문가 시스템 흐름도

5·2 적용사례

전력회사의 배전계통에서 정전지역을 축소하기 위한 부하절체가 필요한 경우는 사고 발생시와 정전작업시의 두가지 경우이다.

본 방안에서는 그림 5·1과 같은 모델 계통을 Prolog 언어를 사용, 프로그래밍하여 전문가

시스템을 적용한 결과 사진 5·1과 같은 초기 칼라 화면을 얻을 수 있었으며 이 시스템에 다음과 같이 두가지의 사례를 고려하였다.

【사례 1】 4, 5번 전주 사이에 사고가 발생한 경우

(1) 4, 5번 전주 사이에 사고가 발생한 경우 현장에서 사고내용에 대한 보고가 보선사령실에 접수되면 보선사령은(사진 5·1)과 같은 초기화면에서 사고지역을 단말기에 입력하여(사진 5·2)와 같은 출력력을 얻는다.

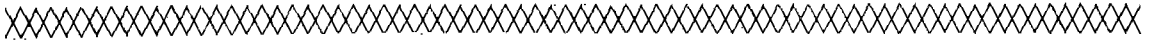
(2) 이 상태에서 사고구간인 4번, 5번전주에 대한 정보를 입력하면(사진 5·3) 컴퓨터 화면에는 리클로저(자동차단 및 개폐기 장치)의 동작상태(Message), 선로복구 순서 및 내용(Command)이 컴퓨터에 의해 지시되고, 보선사령은 이것을 근거로 현장의 선로보수원에게 출력된 작업순서 및 내용에 의거 작업을 명령하며, 조작후의 선로상태(Isolation Tate)가 컴퓨터에 의해 화면에 표시된다(사진 5·4).

(3) 조작이 완료되면 현재의 선로상태가 화면에 출력된다(사진 5·5). 화면에서 출력된 바와 같이 4, 5번 전주 사이의 사고에 의하여 최초의 상태(사진 5·1)에서 사고 조작후의 상태(사진 5·5)로 계통이 바뀌었음을 알 수 있으며 사고구간을 제외한 타구간에는 전원이 정상 공급되어 정전구역을 최소로 하기 위한 최적 부하절체가 이루어진 것을 확인할 수 있다.

또한 상기한 절체방안에서 선로의 허용전류, 보호기기 트립 전류, 변압기 용량 및 전압강하 등의 제한조건이 미리 입력된 데이터에 의해 검토되어 전문가 시스템이 최적 절체방안을 제시하였음은 물론이다.

【사례 2】 3, 4번 전주사이에 사고가 발생한 경우

(1) 사례 1과 유사하게 3, 4번 전주 사이에 사고가 발생한 경우 최초의 상태(사진 5·1)에

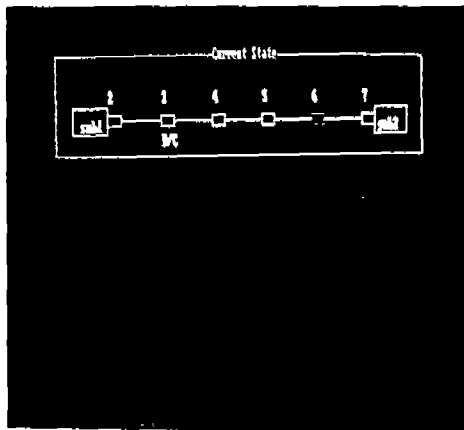


서 사고지역이 단말기에 입력되면 (사진 5·2)와 같은 출력을 얻는다.

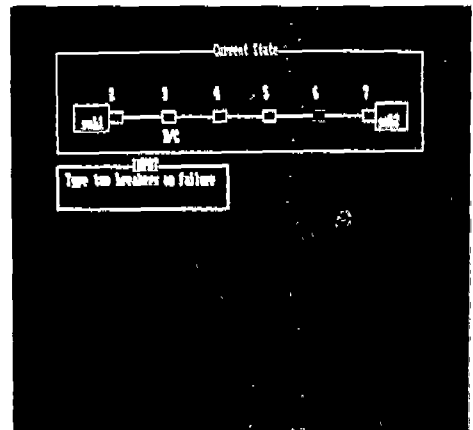
(2) 이 상태에서 사고구간인 3, 4번 전주에 대한 정보를 입력하면 (사진 5·6) 리클로저의 동작상태 (Message), 선로의 복구순서 및 내용 (Command)이 컴퓨터에 의해 지시되고, 보선사령은 이것을 근거로 현장의 선로보수원에게 출력된 작업순서 및 내용에 의거 작업을 명령하며, 조작후의 선로상태 (Isolation State)가 화면에 표시된다 (사진 5·7).

(3) 조작이 완료되면 현재의 선로상태가 화면에 출력된다 (사진 5·8).

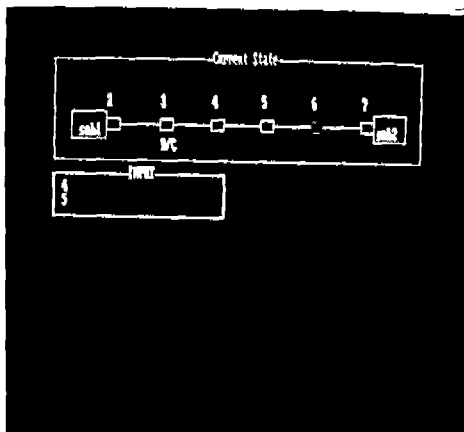
이상 언급한 두가지 사례는 사고발생시 뿐만 아니라 정전작업시에도 같은 요령에 의해 적용할 수 있으며, 상기 시스템에서 좀더 진전되면 다중 정전구간을 고려한 부하절체 방안이나 변전소 주변압기 사고나 보수작업시에 해당 변압기에서 공급하는 모든 피더를 타 피더로 부하절체를 하여야 하는 경우에도 적용할 수 있을 것이다.



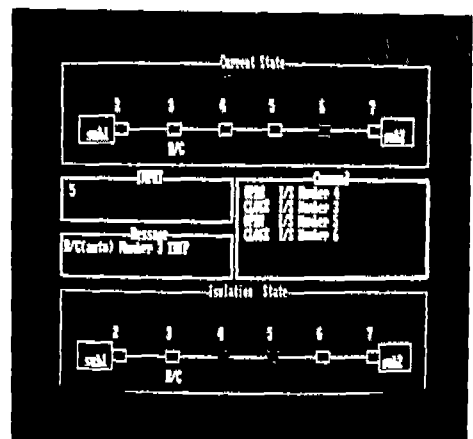
〈사진 5·1〉 CRT의 출력



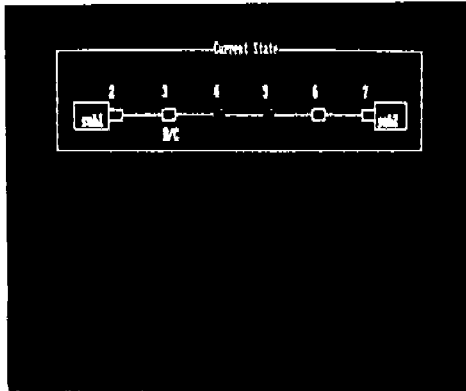
〈사진 5·2〉 CRT의 출력



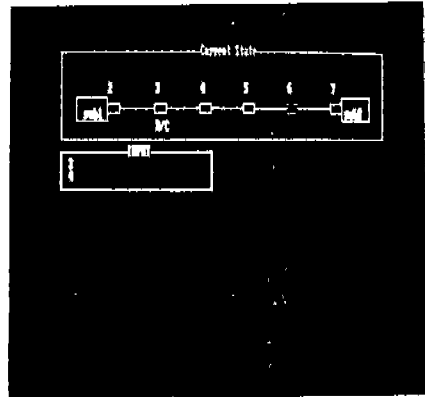
〈사진 5·3〉 CRT의 출력



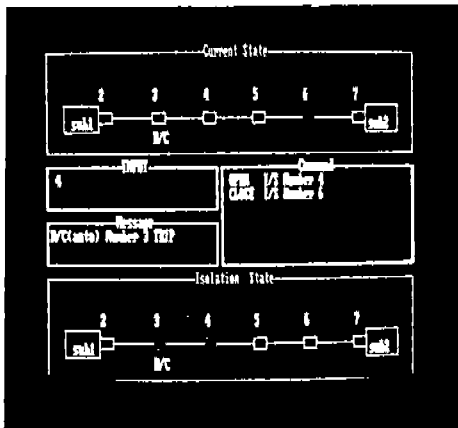
〈사진 5·4〉 CRT의 출력



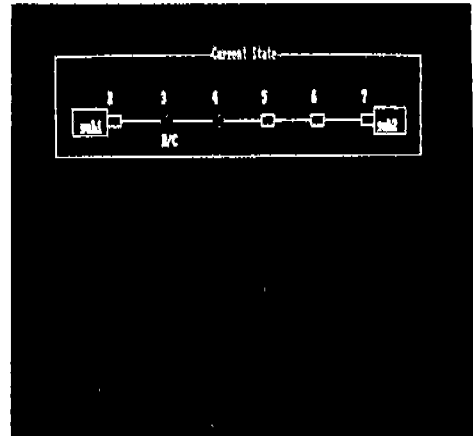
〈사진 5·5〉 CRT 의 출력



〈사진 5·6〉 CRT 의 출력



〈사진 5·7〉 CRT 의 출력



〈사진 5·8〉 CRT 의 출력

6. 결 론

본 방안에서는 배전계통에서 계통사고나 정전 작업시에 정전전지역을 축소시키기 위해서는 필수적으로 수반되는 부하절체에 관한 전문가 시스템에 관하여 제안하였다.

따라서 제안된 전문가 시스템이 적절히 개발 활용된다면 계통의 오조작으로 인한 불필요한 정전을 감소시키고, 정전시간을 단축하며, 전압강

하 및 전력손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 선로운전원의 판단착오로 인한 안전사고 방지에도 기여할 수 있을 것으로 기대되어 한전의 경영개선에도 크게 이바지할 수 있으리라 생각된다. 또한 개발된 전문가 시스템을 배전자동화와 연계하여 변전소의 스캐다 시스템(Scada System)의 자료를 온라인으로 입수할 수 있다면 부하절체 결과에 대한 신뢰도는 더욱 증진될 것으로 판단된다. (연재 끝)