

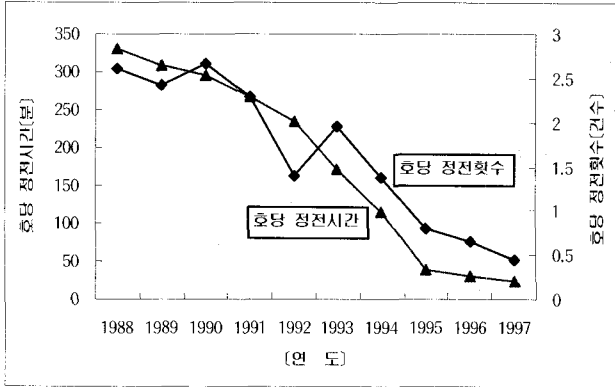
# 고신뢰성 22kV 네트워크 수전 시스템의 도입방안 (상)

최 상 봉

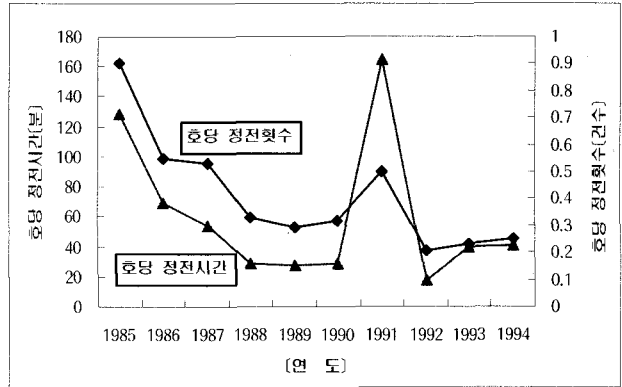
한국전기연구소  
전력계통연구부 지중시스템팀 선임연구원

## 1. 개요

산업사회의 발달로 도시화가 촉진되고 최근에는 첨단 정보설비와 고도화된 산업설비가 지속적으로 확충되어 산업정보화 사회가 가속화되고 있다. 따라서 도시기능과 규모는 물론 산업설비도 첨단화·고도화·대규모화하면서 상호 유기적인 관계를 유지하고 있다. 또한 도시의 인구집중으로 도심지 밀집현상이 일어나고 초고층 빌딩의 등장과 신규택지개발 등 신도시 건설이 활발해지면서 수용가의 쾌적성·편리성의 향상 등을 배경으로 전기이용의 고도화, 쾌적한 도시공간의 확보에 대한 필요성이 제고되고 있다. 이에 따라 해외 선진국에서는 이와 같이 수용가의 높아진 요구조건을 만족시키기 위하여 빌딩의 인텔리전트화와 더불어 고기능·고신뢰도의 수전설비를 갖춘 시스템으로 전력을 공급하고 있다. 일반적으로 전력공급시스템은 전원에서 수용가 부하까지 차단기, 개폐기, 변압기, 피뢰기, 보호기기 등의 많은 전력기기로 구성되어 있으며 이와 같은 기기에 완벽성을 기한다고 할지라도 시공결함이나 기기의 열화, 케이블 손상 등의 외부요인에 의해 필연적으로 고장이 발생할 수 있다. 따라서 이와 같은 고장으로 인한 시스템의 신뢰도 저하로 인해 수용가에 정전이 발생하면 수용가에서는 직접적으로 경제적인 손실을 입을 뿐만 아니라 간접적으로도 여러 가지 불쾌감을 느끼는 문제점을 야기시킨다. 일반적으로 수용가 정전을 의미하는 지표로 수용가 호당 정전시간과 정전횟수를 들 수 있는데 우리나라와 일본의 경우를 비교하여 보면, 다음 그림 1과 그림 2에서 알 수 있듯이 아직까지 선진국에 비해 정전이 많이 발생하여 공급신뢰도가 떨어지고 있음을 알 수 있다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 고장이 발생하더라도 수용가에 정전이 발생하지 않고 계속적으로 전력을 공급할 수 있는 무정전 공급시스템을 해외 선진



〈그림 1〉 연간 수용가 정전발생 현황(한국전력)



〈그림 2〉 연간 수용가 정전발생 현황(일본 전력 9개사 합계)

국에서는 오래전부터 적용해오고 있으며 이와 같은 시스템이 바로 네트워크 수전 시스템이다. 이에 따라 국내에서도 수용가에 공급신뢰도를 높이기 위하여 스포트 네트워크 및 레귤러 네트워크 수전방식의 적용을 일부 시행하고 있으며 적용비율도 점차 증가하고 있는 추세이다. 일반적으로 22kV급 수용가의 수전방식은 다음 표 1과 같이 5가지로 대별될 수 있다.

표1에서 제시한 20kV급 수전방식 중에서 우리나라가 채택하고 있는 수전계통 공급방식은 대부분 상시 타계통 전환이 가능한  $\pi$ 루프 방식이다. 그러나 이와 같은 계통 공급방식은 공급 신뢰도가 떨어질 뿐만 아니라 선로이용률이 50%로 낮아 전력회사 입장에서도 매우 큰 손실을 발생시키고 있을 뿐만 아니라 고장이나 보수작업시 수용가에 정전이 필연적으로 수반된다. 이에 반해 네트워크

〈표 1〉 22kV급 수전방식의 종류와 특징

수전방식	1회선수전	상용·예비 2CB 수전	상용·예비 2LBS+PF 수전방식	$\pi$ 루프 수전방식	네트워크 배전방식
단선결선도					
수전상의 제약조건	없음	없음	없음	없음	없음
수요증가에 대한 탄력성	있음	있음	있음	적음	많음
수전설비 경제성	저가	저가	최저가	고가	저가
공급 신뢰도	사고복구때까지 정전됨	예비선으로 전환될 때까지 정전됨	예비선으로 전환될 때까지 정전됨	사고구간을 전환할 때까지 정전됨	순시정전 없음

방식은 1회선 선로의 고장시에도 정전이 발생되지 않으므로 공급신뢰도가 가장 높으며 선로이용률도 75%로 매우 높아 이미 선진 외국에서는 오래전부터 대도시를 중심으로 적용해 오고 있다. 다음은 이와 같은 고신뢰성의 네트워크 시스템 적용시 선로이용률 이외에 얻을 수 있는 장점을 열거하였다.

① 계통설비 및 보호장치를 간소화할 수 있다.

즉, 배전선로의 사고를 네트워크 변압기 2차측에서 검출하여 보호할 수 있기 때문에 특고측 수전용 차단기와 보호장치를 생략할 수 있다.

② 자동화에 따른 운전의 에너지 절약이 기대된다.

네트워크 프로텍터를 이용하여 계통사고시 자동제어로 계통을 분리하고 무정전 공급이 가능하며 자동적으로 계통 조작을 할 수 있다.

③ 설비의 유지보수점검의 용이성

네트워크 모선 이외에 설비의 유지보수·점검시 부하 제한 및 부하정지를 동반하지 않고 수시로 필요개소를 계통에서 교체, 분리한다.

따라서 우리나라의 경우에도 수용가에 대한 공급신뢰도 향상을 목표로 서울 강남의 테헤란로 지역을 포함하여 일부지역에 스포트 네트워크 공급방식 적용을 공고하였으나 아직 시행하지 못하고 있다. 근래 들어 대전 정부 제2청사에 3회선 스포트 네트워크 방식을 적용하여 운용중이며, 최근에는 청와대에 스포트 네트워크 방식을 도입하여 운용할 예정으로 있는 등, 최근 들어 국내에 네트워크 시스템 적용이 확대되고 있는 실정이다. 그러나 이와 같은 네트워크 방식에 소요되는 수전 기자재는 매우 신뢰성이 높은 기기를 요구하고 있기 때문에 대부분 외국 제품을 수입하여 사용하고 있으며 국내에서는 지금까지 개발한 실적이 없다. 따라서 이와 같은 시스템 적용시, 시스템 적용기술의 경험부족과 수입기자재에 따른 특성 파악 부족 등으로 인해 실제 운용에 상당히 어려움을 겪고 있는 실정이다.

이에 따라 수용가에 대한 서비스의 질적 향상과 국가

경쟁력 제고 그리고 미래에 증가될 수요에 대비하여 네트워크 방식에 소요되는 기자재의 국산화 개발과 시스템 적용기술의 개발이 반드시 필요하리라 생각된다. 따라서 네트워크 계통 기술을 널리 전파할 목적으로 본고에서는 첫째, 네트워크 수전계통에 대한 국내외 관련 기술의 현황을 수록하였으며 둘째, 네트워크 수전계통의 설계시 고려사항으로서 네트워크 구성방식과 보호방식 그리고 네트워크 계통에서의 수용가 혼재의 한계범위를 검토하였고 셋째, 최근 일본에서 많이 확대 적용하고 있는 공간절약형 스포트 네트워크 수전설비를 소개하였다.

## 2. 국내·외 현황

### 가. 국내의 경우

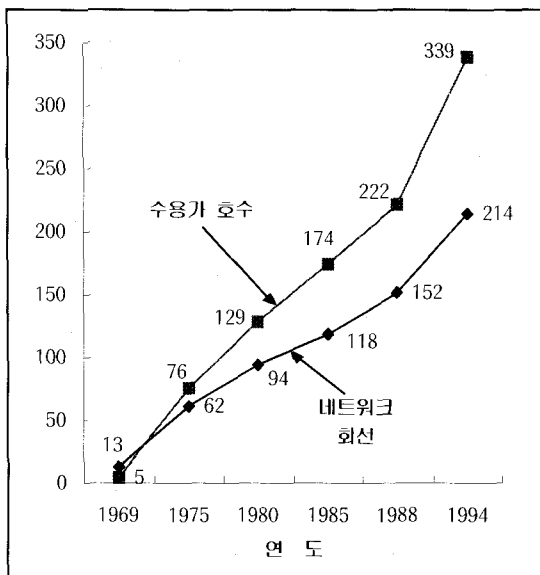
서울 명동지역과 같은 도시고밀도 지역은 대부분 상시 타계통 전환이 가능한 루프방식으로 구성되어 있으며 이 방식은 가장 일반적인 특고압 수용가의 공급방식으로서 전국적으로 광범위하게 적용되고 있다. 루프방식의 경우, 작업정전시 타계통과 교체하여 무정전 작업을 시행할 수 있으나 불시의 고장 선로에 대해서는 정전이 불가피하기 때문에 중요한 수용가에 대해서는 2회선 공급방식(ALTS)을 채택하여 공급신뢰도를 높이고 있다. 그러나 공급신뢰도가 가장 높고 회선 이용률이 양호한 스포트네트워크 공급방식은 현재 서울 강남 테헤란로 지역을 포함하여 일부지역에 적용을 공고하였으나 지금까지 시행하지 못하고 있다. 1998년 대전 정부 제2종합청사내에 고압 스포트 네트워크 공급방식을 적용하여 운영중이며 사용중인 모든 네트워크 시스템용 수전 기자재는 일본 Fuji 사로부터 공급받아 적용되고 있으나 운용기술의 부족으로 어려움을 겪고 있는 실정이다. 최근에는 청와대를 중심으로 새로운 스포트 네트워크 공급방식이 적용 검토되고 있는 상황이다.

## 나. 국외의 경우

### (1) 일본

일본에서는 기존의 간선계통의 주류를 이루었던 6kV의 수전방식에서 22kV급으로의 승압이 고부하밀도 지역을 중심으로 다음과 같이 빠른 속도로 이루어지고 있다.

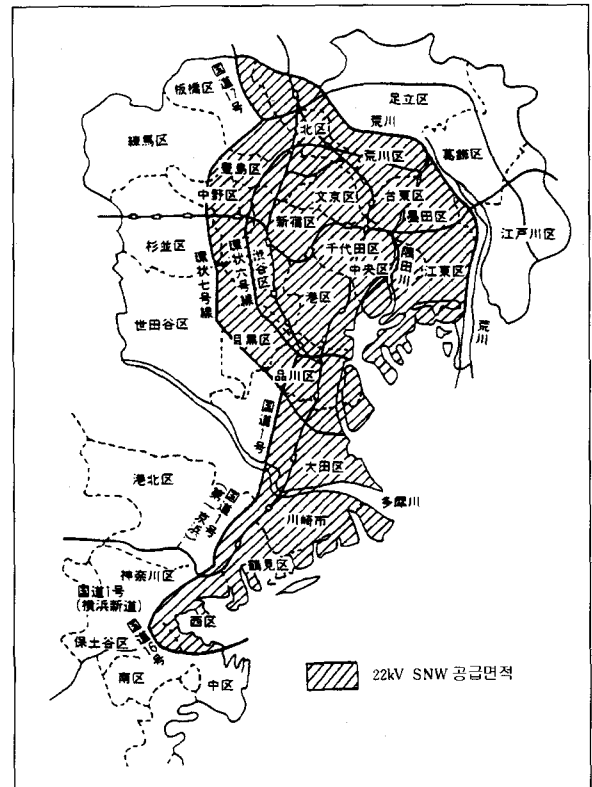
- 22kV/415V 레귤러 네트워크의 적용과 소규모빌딩(50kW~500kW)에 400V 공급
- 중규모 빌딩(500kW 이상)에 22kV를 직접 공급하는 22kV 스포트 네트워크에 의한 공급(그림 3 참조)을 시작으로 1969년 2월에 스포트 네트워크에 의한 22kV 직접공급, 1973년 8월에 22kV 레귤러 네트워크 공급방식을 적용하여 도심지역에 22kV급 네트워크 시스템이 본격 도입되기 시작하였다.
- 레귤러 네트워크 수전방식은 고부하밀도를 갖는 도시지역에 저압수용가를 위한 가장 유망한 수전시스템으로 부각되고 있으며 지금 현재는 동경도 내의 銀座·八重洲지구, 池袋지구에 그리고 구주전력의 Seaside Momochi 신도시 지역 등 여러 지역에 운



〈그림 3〉 22kV 스포트 네트워크 공급의 보급현황(일본)

용중이다.

- 스포트 네트워크 공급방식은 다음 그림 4와 같이 22kV 지중공급을 표준으로 환상 7호선 이내를 중심으로 한 지역에 적용 보급되고 있다. 이와 같이 스포트 네트워크 공급방식은 표준적인 공급방식으로서 착실하게 보급되고 있지만 주로 계약전력 2,000kW 이상의 고압수용가가 중심이며 추진대상은 500kW에서 2,000kW 까지의 수용가를 대상으로 하고 있다.
- 대부분 전력회사별로 네트워크 시스템 설계 및 운영 지침과 기자재 개발 업체를 자체적으로 연계하여 네트워크 시스템 기자재를 개발중이다. 최근에는 네트워크 시스템의 공간절약화에 초점을 맞춰 연구를 진행중이다.



〈그림 4〉 22kV 스포트 네트워크 공급범위(동경전력)

(2) 미국, 캐나다

캐나다의 대표적인 전력회사인 BC 하이드로, 알버타, 에드몬튼, 하이드로 퀘벡, 온타리오 하이드로, 토론토 하이드로, 오타와 하이드로, 노바스코샤 전력에서는 도심부에 대하여 오래 전부터 도시 중심부를 대상으로 저압 네트워크 수전방식과 스포트 네트워크 수전방식을 적용해 오고 있다. BC 하이드로의 경우, 관광지인 Victoria 섬의 시내 중심부에 고압수용가를 위한 스포트네트워크와 저압수용가를 위한 레귤러 네트워크 방식을 적용하여 운용중이며 토론토 하이드로의 경우에도 토론토 시내 중심부에 스포트 네트워크 방식과 레귤러 네트워크 방식이 적용되어 운용중이다. 미국의 경우에는 1915년경부터 대도시를 중심으로 네트워크 시스템이 적용되어 왔으며 그 당시 1차 및 2차 네트워크 고장분리를 위해 변압기 2차단자와 2차모선 그리고 그리드케이블 간에 퓨즈를 사용하였으나 퓨즈간 협조가 어려워 만족스럽지 못하다가 역방향 전류를 감지하여 차단하는 수동 네트워크 프로텍터가 1920년 시애틀과 워싱턴에 처음 등장하였고 1922년에는 자동 네트워크 프로텍터가 개발되어 뉴욕에서 최초로 적용되었다. 지금 현재는 주로 다운타운 일대의 부하밀도가 상당히 높은 장소로 고층빌딩과 쇼핑센터 등의 대용량 수용가가 많은 곳, 도로, 건물 등의 주변여건이 상당히 안정된 곳 그리고 도시미화에 대한 요청이 강력한 곳에 대하여 주로 스포트 네트워크 공급방식의 확장에 힘쓰고 있다.

(3) 유럽

유럽의 경우는 영국, 프랑스, 독일 등의 대도시에서는 오래전부터 스포트 네트워크방식과 레귤러 네트워크 공급방식이 적용되어 오고 있다. 영국이나 독일의 배전전압을 살펴보면 주로 배전간선 1차전압은 11kV이며 2차전압은 415/240V이다. 프랑스의 경우는 1차전압은 11kV이며 2차전압이 우리나라와 같은 380/220V이다. 한편 수전방식을 살펴보면 영국 런던의 경우, 런던시 중

심부 중에서도 특히 고부하밀도 지역에 네트워크 계통으로 공급하는 1차배전계통을 형성하고 있으며 저압계통에 있어서도 저압 Mesh 계통을 구성하고 있다. 프랑스에서도 대도시 고부하밀도 지역에서는 고압 네트워크 방식과 저압 Mesh 계통이 주류를 이루고 있다.

### 3. 네트워크 수전계통의 설계시 고려사항

#### 가. 네트워크 수전계통의 구성방식

인구와 산업의 집중화로 인해 전력의 서비스와 품질에 대한 요청이 증폭되면서 양과 질면에서 급속하게 고도화되는 상황이 되었다. 이와 같은 배경으로 전력공급설비는 도시팽창을 추종하는 현상이 일어나 종래의 수전방식을 답습해 와서는 설비의 복잡 다단화를 피할 수 없고 안정공급을 확보하기 곤란한 상황이 되었다. 이를 해결하기 위해 부하밀도가 높은 대도시 지역을 대상으로 수전계통과 설비의 대형화, 집약화 등을 공급방식으로 하는 대개혁이 필요하게 되었다.

우리나라의 경우, 현재 중요 고압수용가에 루프 방식 또는 상용·예비선 공급방식이 적용되고 있으나 이와 같은 시스템은 선로의 이용률이 떨어지고 예비선 교체시 정전이 필연적으로 수반되는 문제점을 안고 있다. 그러나 네트워크 시스템은 1개의 선로에 고장이 발생하여도 고장선로를 분리하여 나머지 회선으로 전력을 공급함으로써 정전이 발생되지 않는다.

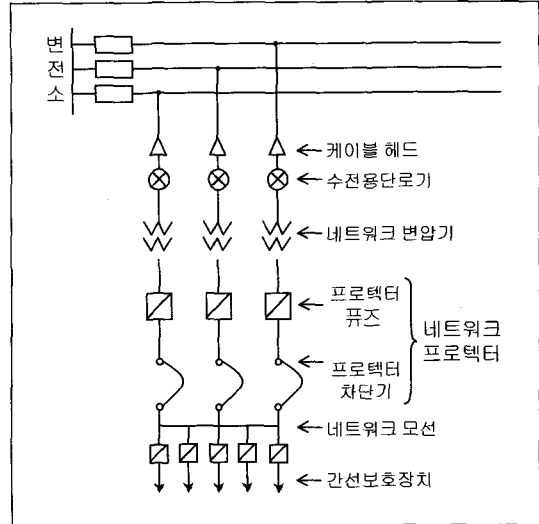
일반적으로 네트워크 수전방식은 다음 그림 5와 그림 6과 같이 우선 크게 고압수용가를 대상으로 하는 22kV 스포트 네트워크(SNW)와 저압수용가 공급을 위한 22kV/380V/220V의 레귤러 네트워크(RNW)으로 구분된다. 스포트 네트워크 수전방식은 2~4회선으로 수전한 변압기의 2차측을 병렬접속하여 부하에 공급하는 형태로서 1회선 사고가 발생하는 경우에도 타회선으로

부터 공급이 가능한 방식이다. 스포트 네트워크 수전방식은 2차측 전압의 크기에 따라 저압 스포트 네트워크 방식과 고압 스포트 네트워크 방식으로 구별되는데 수용가의 계약전력이 크고 부하설비가 분산된 경우에는 고압 스포트 네트워크 방식이 적용되고 있다.

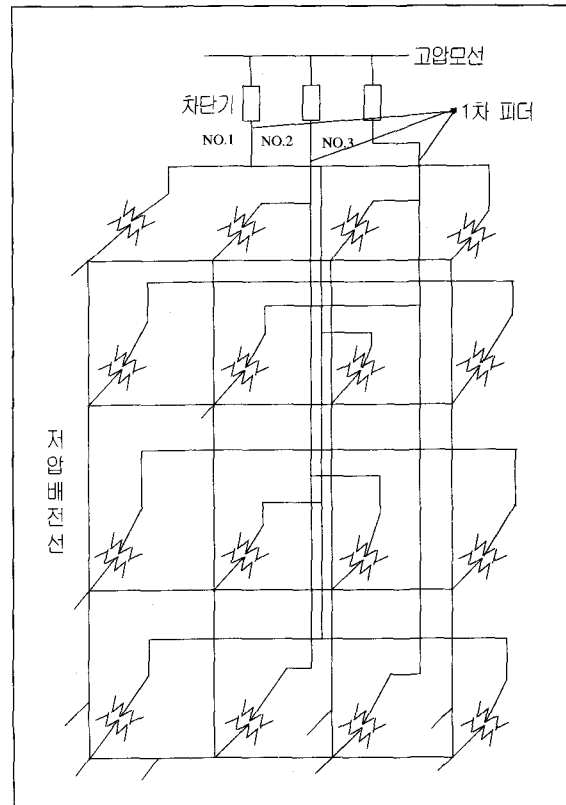
이와 같은 네트워크 수전방식 중에서 스포트 네트워크 수전방식은 주로 도시의 부하가 밀집된 특정지역에 적용되는 공급신뢰도가 높은 수전방식이다. 스포트 네트워크 수전방식은 공급전력회사의 급전소로부터 3~4회선(3회선으로 수전하는 수용이 많다)으로 수전하여 복수의 수용이 네트워크 변압기 2차측에서 병렬운전을 실시하는 방식이며 앞서 설명한 바와 같이 전체적인 시스템 구성은 저압 스포트 네트워크 방식과 고압 스포트 네트워크 방식으로 각각 그림 7, 그림 8과 같다. 네트워크 방식에서 수용가측 수전부는 별도의 보호장치가 설치되어 있지 않고 네트워크 변압기의 2차측에 있는 네트워크 프로텍터로서 보호작용을 한다. 한편 저압수용가를 위한 레귤러 네트워크 수전방식은 고압 1차 피더의 서로 다른 변압기 2차계를 병렬로 하여 1차배전선의 공급지장이 발생하여도 다른 피더에서 공급되는 변압기로부터 무정전으로 저압배전선의 공급을 지속하는 방식으로서 고압선과 변압기는 네트워크 프로텍터로 연계되며 네트워크 프로텍터의 특성은 스포트 네트워크 계통과 같다. 따라서 레귤러 네트워크 공급방식을 선택하면 상당히 높은 신뢰도 향상과 전력손실 및 전압변동의 감소 효과를 얻을 수 있는 반면에 네트워크 프로텍터가 고가이기 때문에 건설비가 높아 부하밀도가 상당히 높은 지역이 아닌 곳에서는 경제적으로 실시하기 어렵다. 또한 저압 배전선은 횡류가 견딜 수 있는 크기를 고려하여야 하며 상시 변압기 부하관리 및 이용률을 낮추는 등에 유의해야 한다.

네트워크 방식의 일반적인 특징은 다음과 같다.

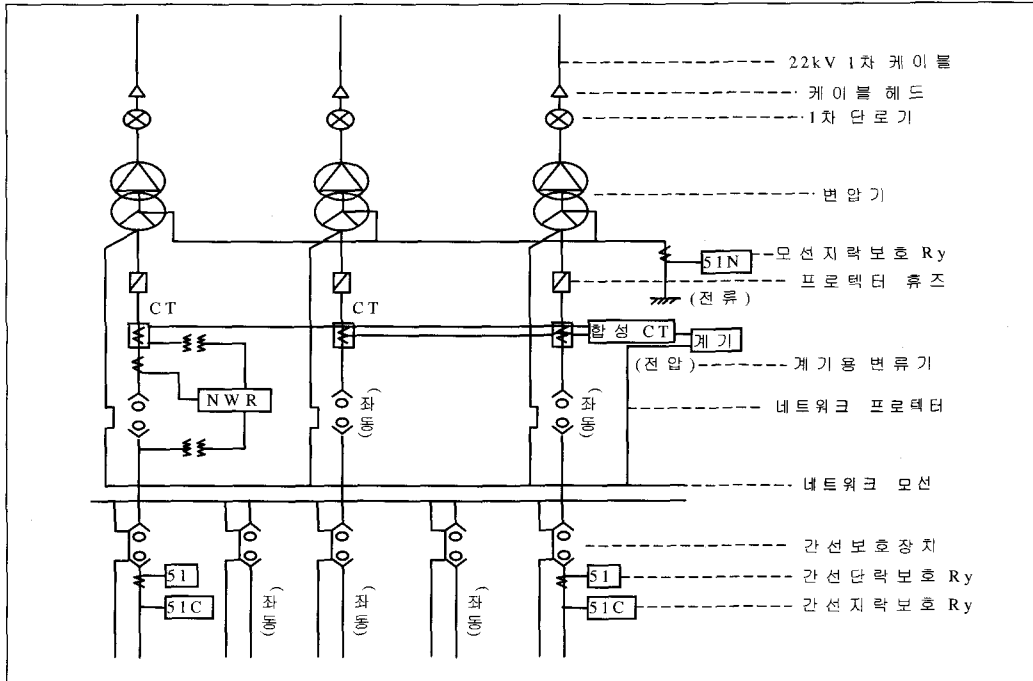
- ① 배전선 1회선, 변압기뱅크 사고시에도 무정전 공급이 가능하다.



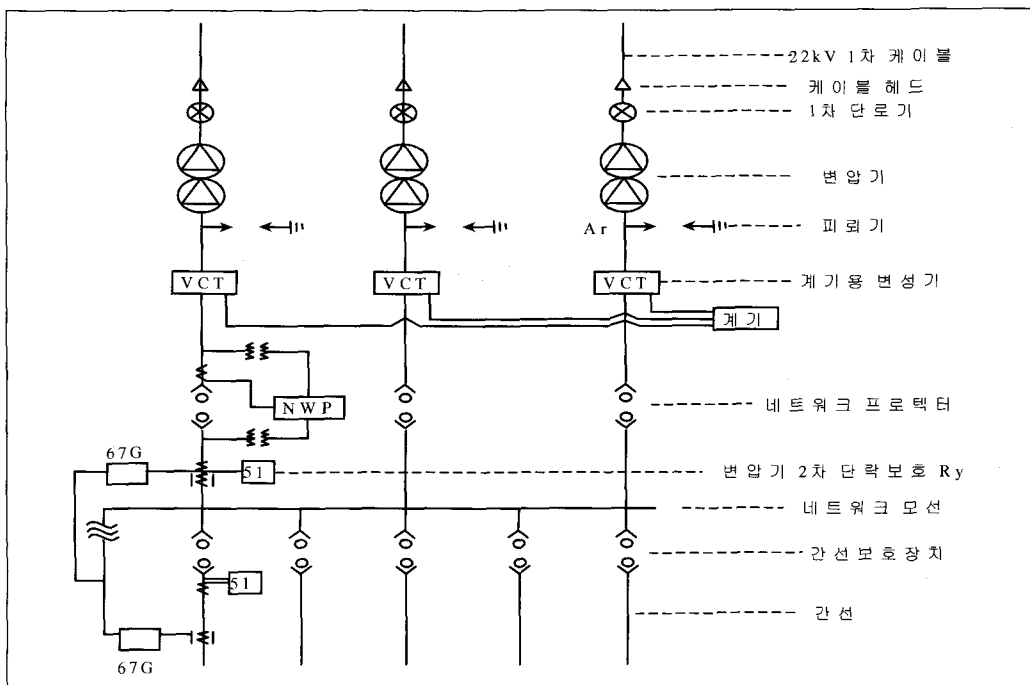
〈그림 5〉 스포트 네트워크 계통구성도



〈그림 6〉 레귤러 네트워크 계통구성도



〈그림 7〉 저압 스포트 네트워크 계통구성도



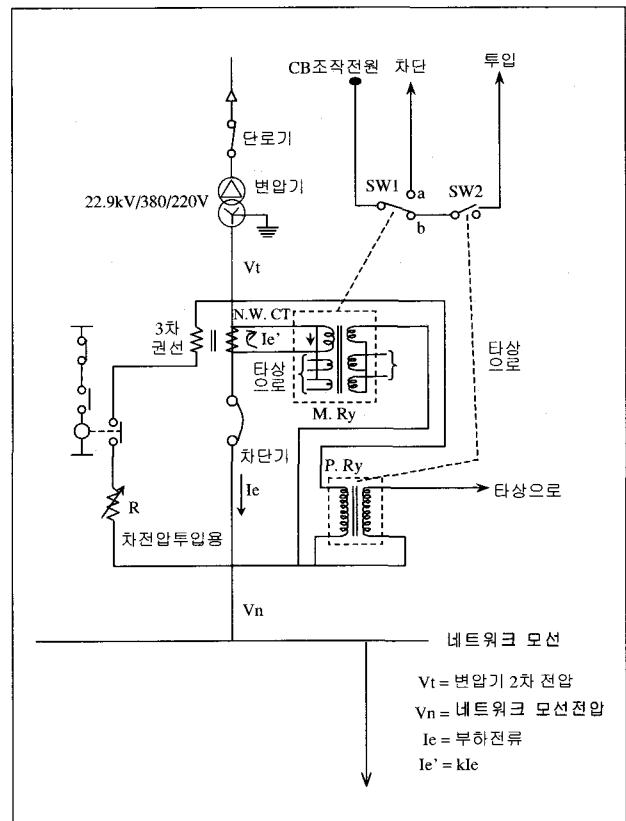
〈그림 8〉 고압 스포트 네트워크 계통구성도

- ② 배전선 보수시, 1회선이 정지하여도 구내정전은 발생되지 않는다.
- ③ 배전선 정지 및 복구시 변압기 2차측 차단기의 개방 및 투입이 자동적으로 이루어진다.
- ④ 설비중에서 고가인 1차측 차단기가 필요하지 않다.
- ⑤ 특고수전의 경우, 상용·예비와 루프 방식 등에서는 특고압 수용가측에 수전용 차단기가 설치되지만 네트워크 방식에서는 차단기 대신에 단로기로 대체한다.
- ⑥ 사고 등으로 인한 수전선로의 1회선 정지시에도 잔여 변압기의 과부하운전으로 최대 수요전력을 담당한다.
- ⑦ 네트워크 변압기의 2차측은 Y결선으로 하여 6.6kV 또는 380V/220V로 한다.
- ⑧ 중압수용가에서 고압수용가까지 적용이 가능하므로 수용가 전력수요 규모에 대하여 적용성이 크다. SNW 방식의 경우, 500kW에서 10,000kW 이상의 대규모 수용가까지 공급이 확대될 수 있으며 RNW 공급방식까지 확대 조합할 경우는 저압수용가까지 공급이 가능하다.
- ⑨ 선로의 이용률을 향상시킬 수 있다. 루프방식과 상용·예비선 방식의 경우, 선로 이용률이 최대 50%이지만, 네트워크 방식은 표준 3회선으로서 67%까지 선로 이용률을 올릴 수 있다.
- ⑩ 부하증가와 같은 수요변동에 대한 선로의 탄력성이 좋아 대도시 고부하밀도 지역에 적합하다. 즉, 네트워크 방식은 배전선의 T분기로 접속되기 때문에 수용가 신설에 대한 대응이 용이하며 따라서 광역의 대도시 수용가군에 공급이 적합하다.

## 나. 네트워크 수전계통의 보호방식

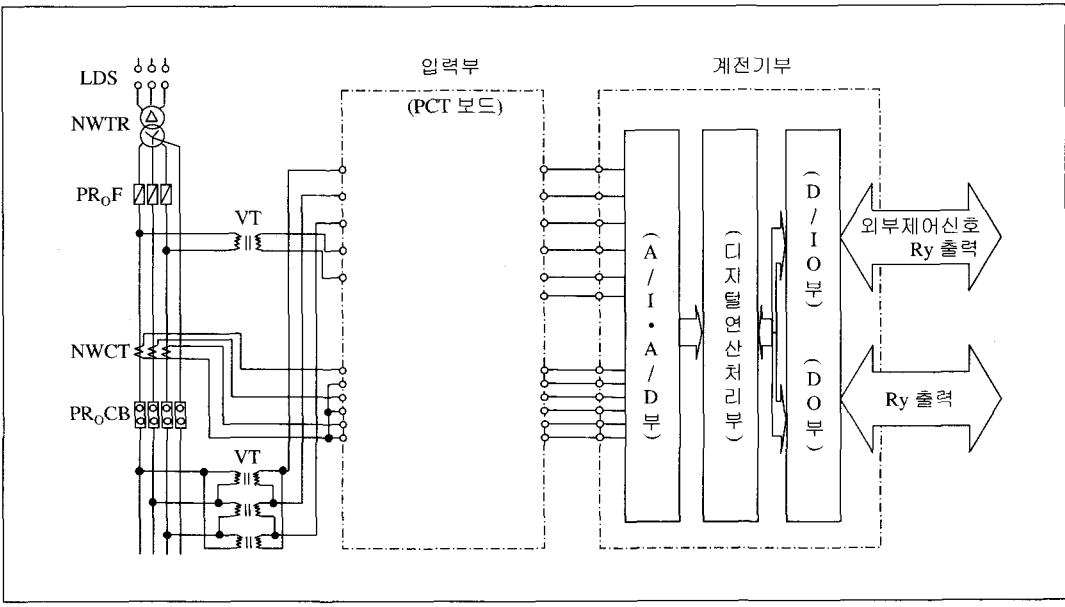
SNW 수전방식은 주로 도시의 부하가 밀집된 특정지역에 적용되는 공급신뢰도가 높은 수전방식이다. SNW 수전방식은 공급전력회사의 급전소로부터 3~4회선(3회

선으로 수전하는 수용가가 많다)으로 수전하여 복수의 수용가가 네트워크 변압기 2차측에서 병렬운전을 실시하는 방식이다. 수용가측 수전부는 별도의 보호장치가 설치되어 있지 않고 네트워크 변압기의 2차측에 있는 네트워크 프로텍터로 보호를 한다. 네트워크 프로텍터부는 네트워크 계전기가 설치되어 있고 그 기능은 보호기능 이외에 설비의 자동운용, 보수의 간략화를 고려한 네트워크의 3원칙 기능(무전압투입특성, 차전압투입특성, 역전력차단특성)이 있다. 다음 그림 9는 이와 같은 네트워크 프로텍터의 동작원리를 도시하였다. 한편 최근에는 디지털 기술의 개발로 네트워크 프로텍터를 기존의 아날로그 형식에서 다음 그림 10과 같이 디지털 형식으로 바꾼 새로운 디지털 네트워크 계전기가 주로 많이 생산되



(그림 9) 네트워크 프로텍터의 동작원리 설명도



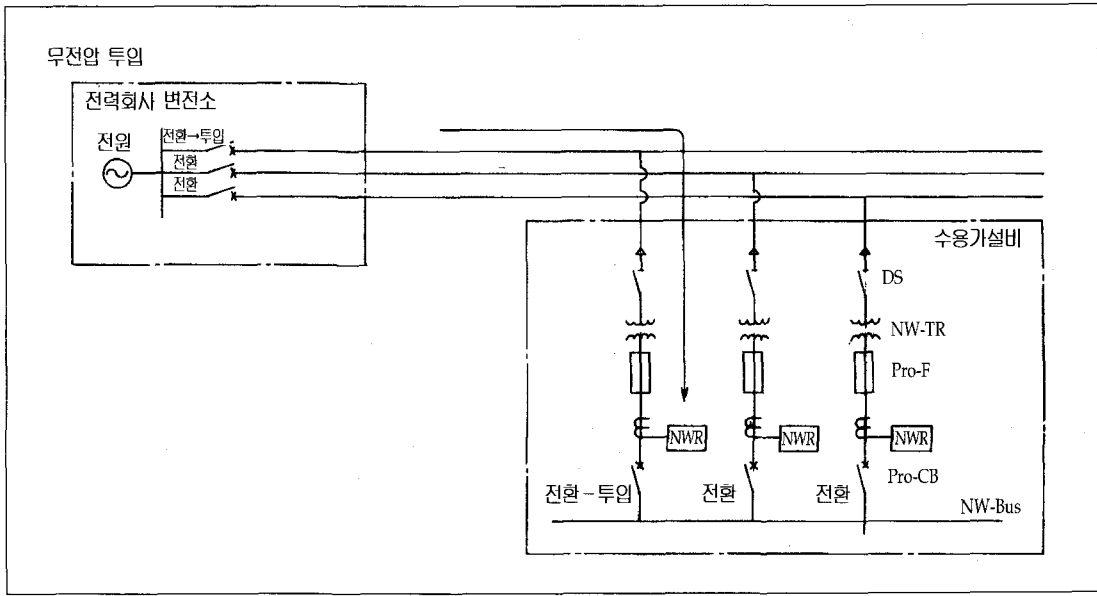


〈그림 10〉 디지털형 네트워크 계전기의 구성도

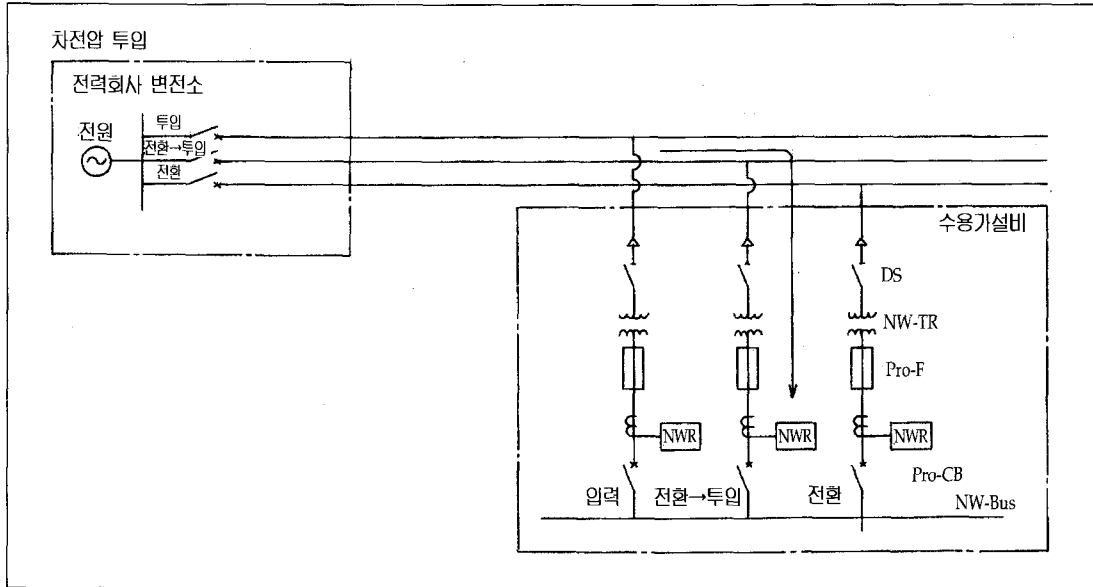
고 있다. 다음은 네트워크 프로텍터의 3원칙 기능에 대한 설명이다.

(1) 무전압투입특성

다음 그림 11과 같이 네트워크 모선이 무전압 상태(정

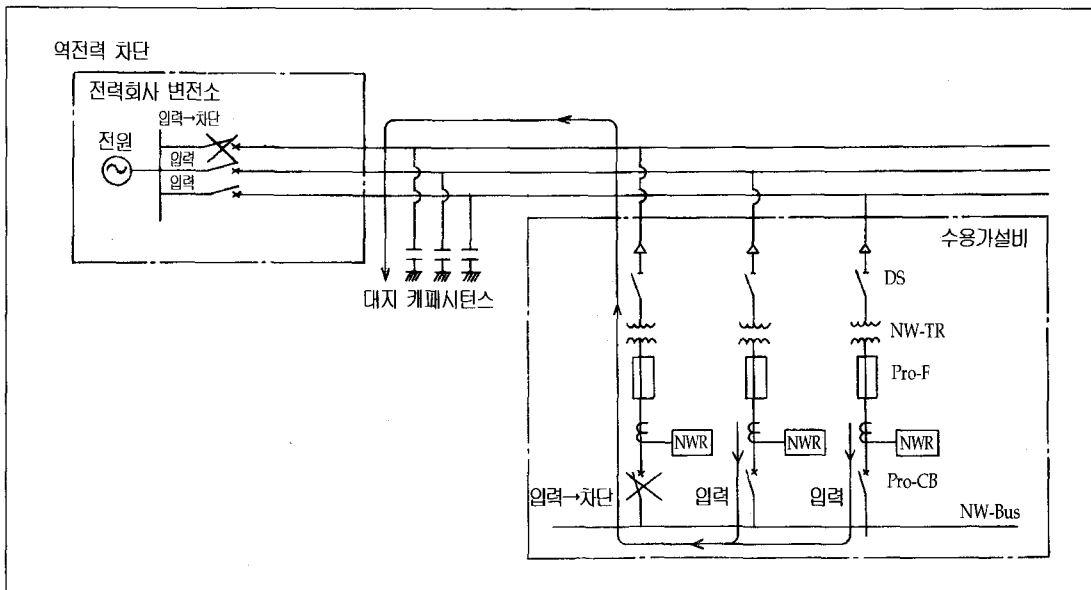


〈그림 11〉 무전압투입 구성도



〈그림 12〉 차전압 투입 구성도

전상태)에서 다른 회선으로부터 수전된 변압기가 충전되 가 자동투입되어 부하에 전력을 공급하는 특성을 말한 고 네트워크 계전기에 의해 그 회선의 네트워크 계전기 다.



〈그림 13〉 역전력 차단 구성도

〈표 2〉 저압 스포트 네트워크 보호장치의 보호협조

사고분류	방식별	단락 사고		지락 사고	
		주보호	후비보호	주보호	후비보호
22kV 축	순전류	변전소 회선 CB	변전소뱅크 CB	변전소 회선 CB	변전소뱅크 CB
	역전류	프로텍터 CB	프로텍터 퓨즈	프로텍터 CB	
변압기 2차~ 프로텍터 퓨즈간	순전류	변전소 회선 CB		경보	
	역전류	프로텍터 퓨즈	타회선의 프로텍터 퓨즈	프로텍터 CB	
프로텍터퓨즈~ 프로텍터 CB간	순전류	프로텍터 퓨즈	변전소 회선 CB	경보	
	역전류	타회선의 프로텍터 퓨즈		프로텍터 CB	
네트워크 모선		프로텍터 퓨즈	변전소 회선 CB	프로텍터 CB	
간선		간선보호 장치	프로텍터 퓨즈	간선보호 장치	프로텍터 CB

〈표 3〉 고압 스포트 네트워크 보호장치의 보호협조

사고분류	방식별	단락 사고		지락 사고	
		주보호	후비보호	주보호	후비보호
22kV 축	순전류	변전소 회선 CB	변전소뱅크 CB	변전소 회선 CB	변전소뱅크 CB
	역전류	프로텍터 CB	타회선의 프로텍터 CB	프로텍터 CB	
변압기 2차~ 프로텍터 CB간	순전류	변전소 회선 CB (주)1 참조		(주)2 참조	
	역전류	프로텍터 CB	타회선의 프로텍터 CB	프로텍터 CB	
네트워크 모선		프로텍터 CB	변전소 회선 CB	프로텍터 CB	
간선		간선보호 장치	프로텍터 CB	간선보호 장치	프로텍터 CB

(주) 1. 네트워크 변압기 2차~프로텍터 CB 간의 단락사고시 변전소 OCR이 효과가 없는 경우는 변압기 1차측에 차단능력이 있는 개폐장치를 설치한다.  
 2. 프로텍터 CB를 차단후 1차 단로기를 개방한다.

(2) 차전압 투입특성

다음 그림 12와 같이 무전압 투입된 후 다른 회선으로부터 수전된 네트워크 변압기가 충전되고 이미 충전되어진 회선과의 병렬운전조건(투입된 변압기 2차전압이 네트워크 모선보다 전압이 높고 위상이 앞서는 조건)이 성립되는 것을 네트워크 계전기가 판단하여 자동투입됨으로써 병렬운전을 행한다.

(3) 역전력 차단특성

병렬운전상태에서 다음 그림 13과 같이 송전선의 작업정지 및 송전선 사고에 의해 네트워크 모선에서 전원측으로 역류하는 전력을 검출하여 네트워크 계전기를 개방하여, 사고·정지회선을 자동적으로 건전회선으로부터 분리시킴으로써 부하에 무정전으로 전력을 공급하는 특성을 말한다.

표 2와 표 3은 네트워크 계통의 보호를 위해 고·저압 스포트네트워크 계통에서의 사고분류별, 방식별로 보호장치의 보호협조를 제시하였다.