

## 러시아의 특별고압 전력계통 ①

- 1991년 이후의 소련연방 전력계통의 발전 및 구조적인 문제와 해결책 -



한전 중앙교육원 배전교육팀  
교수 김재성

**구** 소련연방은 수십년 동안 경제적으로 또 어느 정도로는 기술적으로도 서방세계로부터 고립되어 있었다. 이 기간동안 러시아의 전기기술자들은 최고전압이 1,200kV에 이르는 대규모 특별고압 전력계통망을 설계·건설하였으며, 이 전력계통망은 러시아의 전력설비를 이용하여 건설되었다. 이러한 전력망 구축과 기술적인 문제해결 경험은 전세계의 송전기술자들에게 실제적인 흥미를 줄 수 있을 것이다.

이 글은 일반적인 개요 및 러시아와 미국 특별고압 전력계통의 기술적인 비교에 대한 것으로서 러시아의 여러 기술서적, 잡지 및 개인적인 경험을 토대로 작성한 것이다.

### 일반개요

소련연방과 미국의 일반현황은 표 1과 같다.

구소련연방은 천연자원이 아주 풍부하였으며, 러시아(세계 인구의 약 26%와 세계 영토의 10% 점유)는 세계 천연가스의 45%, 석탄의 23% 그리고 석유의 6%를 가지고 있다. 인구가 주로 유럽과 남쪽지역에 분포된 것에 비해서 에너지자원은 주로 소련연방의 아시아 지역에 집중되어 있고 사람이 거주하지 않는 극지방과 시베리아 지역을 포함하여 광대한 지역이 남겨져 있다. 결과적으로 소련연방은 미국에 비해 전기에너지의 수송거리가 길고 높은 전압이 요구되며, 반면에 1인당 전기에너지 소비량은 현저하게 적다. 전기에너지는 주로 산업용으로 사용되고 가정용은 미국과 유럽에 비하여 적다.

### 전력산업 진행

소련연방의 전력산업은 국영으로 정부의 관리하에 있으며 고도로 중앙집중화 되어있다. 발전과 송전, 배전을 담당하는 약 100개의 지역전력회사가 전력 및 전화(電化)부(이 명칭은 여러번 변경되었다.)의 감독하에 운영되고 있다. 이 네트워크는 각각 5~45GW 정도의 용량을 갖는 11개 지역전력풀에 연결되어 있다. 소련연방은 상호 연계된 전력망을

러/시/아/의/특/별/고/압/전/력/계/통

<표 1> 구소련연방과 미국의 국토, 인구 및 에너지생산량.

(1988~1989)

구 분	단 위	USSR	U.S.A
국 토	10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>	22.4	9.36
인 구	백만	286 *	245
전 력 생 산 량	10 <sup>3</sup> GWh/year	1,705	2,920

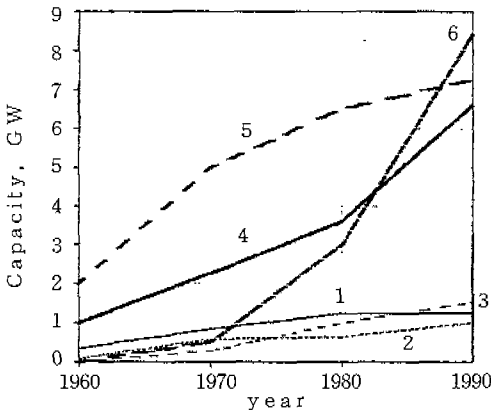
주) \* 러시아의 인구는 약 150백만명임

<표 2> 소련연방 전력계통의 성장

구 분	단 위	1960	1970	1980	1990
연간 전력생산량	10 <sup>3</sup> GWh	350	750	1,300	1,850
상호연계 전력망에 통합된 지역전력풀	EA	4	7	9	9
상호연계 전력망에 의해 공급되는 지역	%	15	25	40	45
상호연계 전력망의 발전용량	GW	29	105	223	290
상호연계 전력망의 전력생산량	%	54			89
고압선로의 총길이	10 <sup>3</sup> km	150	450	780	1,100
특별고압선로의 총길이	10 <sup>3</sup> km	5	28	53	86 *

주) \* 1990년의 특별고압 전력망은 다음과 같이 구성되어 있다.

363kV : 31,000km, 525kV : 45,000km, 787kV : 9,000km, 1,200kV : 1,000km



- 1. 화력 유닛                      2. 수력 유닛
- 3. 원자력 유닛                  4. 화력발전소
- 5. 수력발전소                    6. 원자력발전소

<그림 1> 구소련연방의 발전유닛과 발전소의 용량

만든 후 지역풀을 전력망에 점차 통합시켜 갔으며 1980년에는 9개에 달하게 되었다. 동유럽국가들의 경우 이 상호 연계된 전력망은 동쪽으로부터 서쪽으로 거의 9,000km까지 확대되었다. 소련연방의 분열 후에 러시아의 상호 연계된 전력망은 7,000km까지 확대되어 세계에서 두번째로 큰 전력망을 구

성하였다. 1960년부터 1990년까지의 소련연방 전력산업의 성장은 표 2와 같다.

고도로 중앙 집중된 관리는 그림 1과 같이 대용량 유닛과 대규모 발전을 추진하는데 유리하다. 지방의 전기에너지는 온수공급을 위해 시내에 세워진 발전소에서 열과 함께 생산된다.

소련연방이 1991년에 15개의 독립국가로 나누어짐으로써 상호 연계된 전력망도 분리되게 되었다. 현재 러시아의 총발전용량은 약 212GW이며 전기 에너지의 73%는 화석연료에 의해 생산되고 있으며(45%는 천연가스에 의함), 13%는 원자력에 의해, 그리고 14%는 수력발전소에서 생산된다. 1993년의 전력생산량은 1990년의 87% 수준으로 감소되어 940×10<sup>3</sup> GWh였다. 그리고 1994년부터 1995년까지 매년 약 4%씩 감소되었다(그림 1).

전력산업은 점진적으로 민영화되어 가는 과정에 있다. 러시아의 합자회사 "러시아 전력연계망"이 현재 보유하고 있는 것은 다음과 같다.

- 용량 백만kW 이상의 화석연료 발전소와 용량 30만kW 이상의 수력발전소의 모든 주식
- 소규모 발전소와 지역전력망을 가지고 있는

지방전력기관 주식의 49%

- 연계전력망을 구성하고 있는 모든 특별고압 송전시스템과 변전소
- 중앙 및 지방의 전력풀위원회
- 전력사업을 위한 설계 및 연구기관

장래에는 이러한 사업구조가 전력생산자들간에 경쟁을 촉진하는데 적합할 것이다. 그러나 현재에는 전기에너지와 열요금에 정부가 의해 통제되고 있다.

경제가 안정된 후 러시아의 전력생산량은 2010년에 1,400~1,600×10<sup>9</sup>GWh까지 증가할 것으로 기대된다. 총 100GW의 발전용량이 건설되거나 재건될 것이다. 약 25GW의 원자력발전소와 30GW의 복합화력발전소가 건설될 것이다. 구소련연방의 독립에 따라 특별고압 전력망은 새로운 환경에 맞게 개선될 것이며 서유럽의 전력망(UCPTE)과 연계될 것이다. 특고압개폐장치, 고압계통용 장비 및 부속장비들이 교체될 것이며 SF<sub>6</sub>가스변전소가 널리 도입될 것이다. 만약 보다 엄격하게 요구되는 유럽의 전력품질을 만족시키기 위해 연속되는 직류변전소가 도입된다면 현재의 특별고압전력망으로 UCPTE에 4GW의 전력을 송전하는 것이 기술적으로 가능하다.

독일에게 4GW의 전력을 송전하기 위해 1,800km 이상의 길이로 ±500kV의 이중계통 같은 직류송전선 추가건설이 구상되고 있다. 이와 같은 거대한 계획의 실현여부는 러시아, 유럽 나아가서는 세계의 정치 경제적인 상황에 크게 달려있다.

## 러시아의 특별고압 교류송전선

먼 거리에 위치하고 있는 수력발전소와 화력발전소로부터 전력을 송전하기 위해 특별고압 교류송전선이 도입되었다. 연간 최대부하 지속시간이 5,000~7,000시간인 경우, 러시아의 경제예측에 의해 다음단계의 특별고압 계통은 전송전력별로 아래와 같이 평가되고 있다.

- 363 ~ 525kV : 200km의 거리로 1GW 전송  
400km의 거리로 0.6GW 전송
- 525 ~ 787kV : 400km의 거리로 2.2GW 전송  
700km의 거리로 1.2GW 전송

○ 787 ~ 1,200kV : 400km의 거리로 3.6~3.8GW 전송  
700km의 거리로 2.8~3.0GW 전송

러시아는 1957년에 420kV 전력계통이 도입되었으며 1959년에 525kV급, 1967년에 787kV급 그리고 1985년에 1,200kV급 전력계통이 채택되었다. 그리고 1980년대에 1,800kV급 전력계통의 연구프로젝트가 수행되었다.

소련연방 전력계통의 중추간선은 525kV 계통과 787kV 계통으로 이루어져 있다.

역사적으로 소련연방의 서부지역은 172~362kV의 전력계통이 운용되다가 뒤에 787kV로 격상되었으며 중부와 동부지역은 126~252kV의 전력계통에서 525kV로 격상되었다. 이 두 개의 전력계통은 중부지역 일부에서 전력망으로 연계되었다. 양계통의 다음 격상전압으로는 1,200kV의 전압이 선택되었으며, 1,200kV급 전력계통의 총길이는 약 10,000km로 계획되었다. 소련연방이 붕괴되기 전에 동부지역에 1,900km가 건설되었으며 약 1,000km가 현 카자흐스탄 영토에 위탁되었다.

직류송전계통은 사이리스터의 낮은 품질과 고비용 때문에 널리 적용되지 못했다.

오직 720MW를 송전하기 위한 500km의 ±400kV 송전선과 1GW용 330/400kV back-to-back 직류설비만이 운전 중에 있다. 6GW를 송전하기 위한 2,400km의 ±750kV급 직류송전선이 설계되었지만 건설되지 못하였다.

러시아와 미국 525~787kV급 교류계통과의 주된 차이점은 다음과 같다.

- 러시아의 송전선은 일반적으로 미국보다 길다.
- 러시아의 첩탐은 1회선용이다.
- 러시아는 운전의 초기단계에서 단거리 송전선의 송전측 특히 수전부스측의 인덕턴스가 매우 높다(787kV급에서 2.3Zw까지, Zw는 송전선의 서어지임피던스임).
- 일반적으로 분로보상의 정도는 적절하다(평균적으로 525kV급 송전계통에서 30% 정도이며 787kV급 송전계통에서 80% 정도이다).
- 직렬보상은 드물게 사용된다.
- 사이리스터제어 분로보상과 FACTS 기술은 적용되지 않았다.
- 선로는 적은 직경의 많은 전선을 묶은 다도

## 러/시/아/의/특/별/고/압/전/력/계/통

<표 3> 특고압변압기와 리액터의 용량, MVA

전 압, kV	변 압 기	분 리 액 터
362	63~1,000	없음*
525	250~1,600	180
787	1,000 & 1,250	330
1,200	2,000	1,000

주)\* 초과된 무효전력은 126kV 또는 40.5kV로 보상된다.  
단상리액터(3상뱅크 용량은 90~100MVA이다.)

체(연선)를 사용하여 상호 용량리액터가 적절하며 전력계통의 안정도가 높은 편이다.

- 많이 연계된 전체 전력망이 한계안정도 가까이 운전되고 있다.
- 모든 787kV 분로리액터와 많은 525kV 분로리액터가 변전소 부스가 아닌 송전선에 연결되어 있어 선로의 개폐시 발생하는 서어지를 억제시키는 역할을 한다. 분로리액터는 제한 전압을 넘는 선로의 과전압이 발생했을 때 플

래쉬오버되는 방전갯을 갖추고 있다.

- 절연레벨은 보다 더 강화되어 있다.
- 단상고속제폐로는 신뢰도 향상을 위해 모든 특고압계통에 적용되고 있다.
- 고압, 특별고압 송전선 및 전력망의 설계, 운전, 유지보수를 위한 국가(표준)기술규칙이 있어 통일된 기술이 전국에 걸쳐 적용되고 있다.

● 다음호에 계속 됩니다

### 전기·전자 기술용어 순화

♣ 본지에 수록한 전기·전자분야 기술용어는 한전 및 각 분야의 현장 또는 대학 등에서 잘못 사용하고 있는 용어를 대한전기학회와 전기협회에서 순화한 것으로서 심의위원회의 검수를 마친 용어들입니다 ♣

순화대상용어	순 화 용 어	해 설
금 장	선로길이	전주 또는 철탑의 사이에 가설된 전선의 지지점간의 수평길이. 일반적으로 가공 및 지중선로의 선로길이를 표시하는데 사용한다.
낫 도	너 트	보통 사각형 또는 육각형으로 되어 있는 암나사, 수나사에 끼워서 기계 부품 따위를 고정시키는데 쓴다.
내 지	나 사	기계 부품 및 기타 부속을 죄어 고정시키는데 사용하는 나선 모양의 홈이 나 있는 부품. 바깥쪽에 홈이 나 있는 수나사와 안쪽에 홈이 나 있는 암나사가 있다.
다이 나 모 미 터	동 력 계	회전력을 측정하기 위하여 회전력 표시장치를 설치한 발전기, 전동기 또는 와전류 부하흡수장치. 접속된 기계의 입력전력이나 출력전력을 산정한 경우에는 속도를 표시하는 장치가 더 필요하다.
마 끼 센	권 선	자계를 얻기 위해 도체를 어떤 틀에다 적절히 배열한 도선의 뭉치. 자기회로를 구성하여 자기장을 발생하거나 또는 자기장과 쇠교함으로써 전압을 발생하는 작용을 한다.