2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2007. 7. 18 - 20

우리나라 전계통 정전시 복구계획 소개

송태용, 여현근
한국전력거래소

Power System Restoration Plan for Korea Power System

Song, Tae-Yong, Rju, Hyun-Keun
KOREA POWER EXCHANGE (KPX)

Abstract - 우리나라는 전계통 정전 발생 및 광역지역 정전에 대비하여 매년 "전계통 정전시 복구계획"을 수립하여 정전발생에 대비하고 있다. 우리나라는 외부와 고립된 계통으로 외부수전이 불가능하므로 전국 7개 지역에 12개 자체기동발전기를 지정하여 운영하고 있다. 정전 발생시 우리나라 계통복구 절차를 살펴보면 먼저 거래소가 EMS와 전국 발·변전소로부터 올라온 정보를 분석하여 광역정전 여부를 파악하여 정전상황을 각 사업소에 통보하게 된다. 그 후 즉시 자체기동발전기를 기동하고, 시송전 선로를 구성하게 된다. 이 시송전선로를 통해 자체기동발전기에서 생산한 전력을 우선공급발전소에 전달하여 최초 계통복구를 위한 시송전계통을 구성하게 된다. 이후 안정후공급발전기에 기동전력을 공급하면서 계통에 병입되는 전력에 맞춰 계통 부하복구를 시행하게 된다. 지역별 계통이 안정화되었을 경우 지역간 계통을 연계하여 복구과정을 마치게 된다. 이러한 복구계획의 시초가 되는 자체기동발전기가 우리나라와 같은 고립계통에서 매우 중요하므로 자체기동발전기 정기시험을 매년 시행하고 있다. 마지막으로 2006년 제주계통 정전시 복구계획 적용사례와 이때 발생되었던 문제점 및 해결방안을 설명하였다.

1. 서 론

우리나라 전력계통은 1971년 9월 27일 서울화력#5 정지에 의하여 전계통 정전이 발생한 이후 수십년 간 전계통 정전 없이 매우 높은 신뢰성을 유지하며 운전되고 있다. 하지만 전력계통의 다양한 운영조건 및 경제성을 추구하는 외부환경을 고려한다면 전계통 정전의 위험은 항상 존재한다고 할 수 있다. 한국전력거래소는 산업자원부 고시 제2005-11호 "전력계통신뢰도및전기품질유지기준"에 따라 전계통 정전에 대비하여 자체기동발전기를 지정하고 있으며, 전력시장운영규칙 [별표12] "비상시급전지시절차"에 따라 "전계통 정전시 복구계획"(이하 복구계획)(1)을 수립하여 장래에 발생할 수 있는 정전에 대비하고 있다. 따라서 우리나라에서 대정전이 발생하였을 경우 계통운영을 담당하고 있는 한국전력거래소에서 어떻게 복구계획을 수립하여 대비하고 있는지에 대해 살펴보는 것도 우리나라 전력계통을 이해하는데 있어 중요한 요소라고 할 수 있다. 본론에서 복구계획의 기본 개념을 설명하고 각 사업자의 역할 및 각 복구 단계별 절차에 대하여 설명하고 마지막으로 전계통 정전에 대비한 자체기동발전기 시험 및 정전사례에 대해 설명하도록 한다.

2. 본 론

2.1 일반적인 복구계획의 단계(2)

일반적인 복구계획의 기본 단계를 살펴보면 재기동(Restart), 발전기연계 (Reintegration), 부하복구(Load Pick-up), 계통연계(Interconnection)로 나눌 수 있다. 재기동 단계는 각 시송전계통의 발전기에 전원을 공급하여 발전기를 기동하는 단계이고 발전기연계 단계는 발전기 운영을 위한 최소한의 부하를 공급하면서 발전기들을 서로 연계하는 단계이다. 그 후 부하복구단계는 주파수 저하가 발생하지 않도록 주의하면서 계통부하를 복구하는 단계이고 최종으로 계통을 서로 연계하는 단계를 거쳐 복구과정을 종료하게 된다.

2.2 우리나라 복구계획의 기본 개념

우리나라 복구계획의 기본 개념을 살펴보면, 전계통 정전에 대비하여 현재 7개 지역에서 주, 예비 자체기동발전기 12기(한 발전소내 복수발전기 지정시 1기로 간주)를 지정하고 있다. 자체기동발전기는 빠른 시간에 외부전원의 도움 없이 기동할 수 있는 발전기가 주로 지정되었다. 2006년 말 현재 수력 4기, G/T 3기, 양수발전 5기가 지정되어 있으며 용량 면에서 수력 및 양수발전이 주가 된다고 할 수 있다. 이러한 자체기동발전기를 활용하여 전계통 정전시 우선공급발전기(복합 8개소, 기력 4개소)를 가압하여 복구단계 초기의 시송전계통을 구성하게 된다. 이때 자체기동발전기의 전력을 우선공급발전기에 공급할 수 있도록 차단기조작을 통하여 선로를 구성하게 되는데 이 선로를 시송전선로라 한다. 즉, 신속한 고장복구를 위해 전계통 정전시 시송전선로를 구성하는 차단기(황색차단기)는 모두 투입하고 그 외 차단기를 모두 개방하여 시송전선로를 구성하게 된다. 이렇게 구성된 지역별 시송전계통을 중앙급전소의 지시를 통해 발전과 부하의 균형을 유지하면서 각 복구계통을 안정화시키며 확장하게 된다. 각 지역별 복구계통이 안정화되면 최종으로 지역별 복구계통을 사전에 설정된 연계점에서 연계하여 복구과정을 종료하는 것이 우리나라 복구계획의 기본과정이라 할 수 있다.

2.3 각 사업자별 책임사항

○ 전력거래소
- 매년 복구계획을 수립하여 관련 전기사업자에게 통보
- 시송전계통의 복구 가능 여부를 점검하고 복구 담당자를 교육
- 전계통 정전 등의 비상 상황시 계통을 신속하고 안정적으로 복구

○ 발전사업자
- 비상 상황시 발전기가 정상적으로 동작할 수 있도록 유지관리
- 거래소의 복구계획에 따라 자체기동발전기, 우선공급발전기에 대한 세부복구계획을 수립

○ 송전사업자
- 비상 상황시 차단기가 정상적으로 동작할 수 있도록 유지 관리
- 거래소의 복구계획을 참고하여 송전선로 가압, 지역부하 공급 절차 등을 포함한 지역별 세부복구계획 수립

2.4 우리나라 전계통 정전시 복구 절차

1) 정전 발생 확인

정전 발생시 송전사업자와 발전사업자는 정전규모 및 정상운전 가능여부를 파악하여 거래소에 통보하고 거래소는 EMS에서 제공하는 전력정보 및 사업자가 통보한 계통상황을 종합하여 전계통 정전을 파악한다.

2) 계통상황의 통지

전계통 정전으로 확인될 경우 전력거래소는 급전통신설비를 사용하여 전국의 발전사업자와 송전사업자를 호출하여 전계통 정전을 통보한다.

3) 시송전선로 구성 및 자체기동발전기 조작

송전사업자와 발전사업자는 전계통 정전을 통보 받으면 황색차단기를 제외한 전 차단기를 즉시 개방하고, 황색차단기가 개방되어 있을 경우 즉시 투입하여 시송전선로를 구성한다. 특히 자체기동발전소에서는 전계통 정전을 통보 받는 즉시 자체기동발전기를 기동하고 복구계획에 지정된 전압을 유지하면서 계통병입을 위한 거래소의 지시를 기다린다.

4) 시송전선로의 가압

전력거래소는 지역별로 황색차단기가 투입되어 시송전선로가 정확하게 구성되었는지 여부와 자체기동발전기가 안정하게 기동되어 대기하고 있는 것을 확인한 후 시송전선로 가압을 지시한다. 전력거래소는 자체기동발전기로 계통을 가압한 후 발전기 안정운영을 위한 최소한의 부하 이상을 공급할 수 있도록 하며, 이때 발전기 정격용량의 80%가 넘지 않도록 부하를 조절한다. 특히 자체기동발전기를 사용하여 시송전선로를 가압할 때 페란티 현상에 의한 과전압 및 차과도 전압상승을 억제하기 위해 사전에 설정된 발전기 단자전압을 유지한다.

5) 우선공급발전기의 조작

우선공급발전기 고압측 모선 가압이 확인되면 발전사업자는 우선공급발전기에 기동전력을 공급하도록 한다. 우선공급발전기가 기동되면 전력거래소의 급전지시에 따라 계통에 병입하게 된다. 전력거래소는 우선공급발전기가 계통에 병입된 후 발전기 정격용량의 80%가 넘지 않도록 부하를 조절한다.

6) 안정후공급발전기 조작 및 부하복구

전력거래소는 우선공급발전기 안정 운전에 필요한 최소한의 부하를 공급한 후 인근 안정후공급발전기와 지역부하에 전력을 공급한다. 부하공급시 송전사업자는 변전소 제어전원 및 조작전원이 우선적으로 확보될 수 있도록 부하를 공급해야 하며, 또한 정유설비, 가스설비 등 발전기

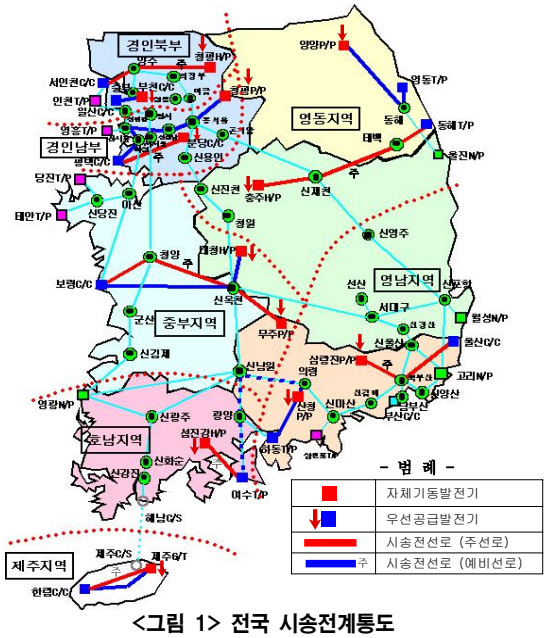
연료를 공급하는 설비에 복구 초기 전원이 공급될 수 있도록 한다.

7) 지역간 계통 연계

각 지역별 복구계통이 안정화되면 지역별로 나누어져 있는 계통을 연계한다. 각 지역별 계통의 동기가 서로 다르기 때문에 동기를 맞출 수 있는 동기차단기가 설치된 장소에서 계통을 연계한다. 계통 연계후 계통에 과전압 등의 문제가 발생하지 않을 경우 안정도 강화를 위해 두 계통을 연결하는 선로를 가능한 다수 투입하여 지역간 연계를 강화한다.

2.5 지역별 시송전계통

우리나라의 시송전계통은 각 지역별로 주, 예비 시송전계통이 구성되어 시송전계통에 휴전 및 고장이 발생하더라도 적어도 1개의 시송전계통은 항상 정전에 대비할 수 있도록 복구 시스템을 운영하고 있다.



<그림 1> 전국 시송전계통도

<그림 1>을 보면 5개 지역은 주, 예비 자체기동발전기로 구성되었으나 제주지역과 호남지역은 자체기동발전기 1기로 구성된 것을 알 수 있다. 이는 호남지역 및 제주지역의 자체기동발전기가 부족하기 때문이며 이를 해소하기 위해 호남지역은 영남지역 자체기동발전기인 산청P/P를 호남지역 시송전계통 휴전시 임시 자체기동발전기로 사용하며, 제주지역은 제주G/T#3 휴전시 동기조상기를 발전모드로 변환하여 자체기동발전기로 활용하고 있다.

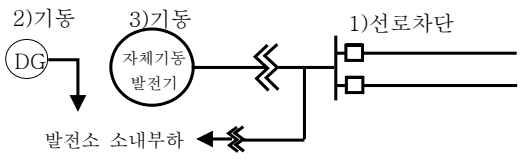
2.6 자체기동발전기 시험(3)

전계통 정전시 복구계획이 실제 상황에서 적용되기 위해서는 시송전계통의 모든 설비가 비상시 정상적으로 운전되는 것이 중요하다. 시송전 설비 중에서 고립계통으로 구성된 우리나라 특성상 자체기동발전기의 중요성이 어느 나라보다 높다고 할 수 있다. 따라서 전력거래소에서는 각 자체기동발전기에 대하여 연 2회의 정기시험을 시행하고 있다.

자체기동 발전기 정기시험이 이루어지는 개요를 살펴보면 다음과 같다.

1) 소내를 정전시켜 전계통 정전과 유사한 상황을 만든다. 이를 위해 발전소 인출선로를 차단하여 발전소 전체를 완전 무압시킨다.
2) 소내전원용 디젤 비상발전기를 기동시켜 소내전원을 공급한다.
3) 소내전원을 확보한 후 자체기동발전기를 기동한다.
4) 자체기동발전기가 정격속도에 도달한 후 무부하 또는 계통 병입후 30분간 안정 유지한다.

자체기동 시험시 상기 과정을 정해진 시간 내에 완료하면 합격으로 본다.



<그림 2> 자체기동발전소 시험 개요도

자체기동발전기 시험은 인증시험, 정기시험, 특별시험이 있으며 모든 시험에 합격하기 위해서는 아래와 같은 시험기준을 만족하여야 한다.

- 전력거래소의 시험 지시후 비상발전기를 기동하여 주발전기가 정격속도에 도달할 때까지 수력, 양수, 및 제주G/T#3은 30분, 가스터빈 발전기는 60분을 넘지 않아야 한다.
- 정격속도에 도달한 발전기는 30분간 안정적으로 운전되어야 한다.

2006년 경우 자체기동발전기 12개에서 정기시험을 시행하였으며(1개소는 계통제약으로 비상발전기 시험으로 대체) 모두 시험에 합격하였다.

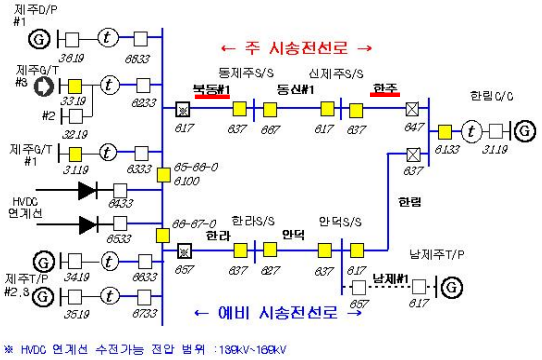
2.7 복구계획 적용 사례 - 2006년 제주정전

○ 제주지역 전계통 정전시 발생개요

2006년 4월 1일 10:36 정전 발생전 제주지역에 부하 348MW가 정상적으로 공급되던 중, HVDC 해저 #2 Pole 케이블 손상과 #1 Pole의 보호장치 오동작에 의해 HVDC가 정지되었다. 주파수 저하로 인해 제주 UFR 1~4단계 부하차단이 동작하여 주파수가 회복되던 중 제주내연#1 40MW가 고장으로 정지되어 제주지역 전계통이 정전되었다.

○ 제주지역 전계통 정전시 복구계획 소개

제주지역 정전 발생시 제주G/T#3을 기동하여 제주T/P 모선을 가압시키고 그 사이 한전 제주지사에서 <그림3>에 나와 있는 황색차단기를 투입하고 일반차단기는 개방하여 시송전선로를 구성하게 된다. 시송전선로가 구성되면 북동#1T/L 617 차단기를 투입하여 주 시송전선로를 가압하고 154kV 한림C/C의 한주T/L 647 차단기를 투입하여 한림C/C에 기동전력을 공급한다. 이렇게 시송전계통이 구성되면 이를 기반으로 하여 제주지역의 발전력과 부하를 조절하면서 복구과정을 진행한다.



<그림 3> 제주지역 시송전 계통도

○ 제주지역 전계통 정전시 복구과정

제주지역 복구시 제주G/T#3 기동후 계획대로 한림C/C 모선을 가압하여 한림C/C의 기동전력을 공급하였다. 그 후 남제주T/P 내 발전기에 기동전력을 공급하는 과정에서 제주계통이 Loop되어 전압이 상승하였고 특히 지중선로인 남제#1T/L이 가압되면서 페란티 효과로 인한 과전압이 발생하였다. 과전압을 억제한 후 HVDC #1 Pole이 가압되어 150MW를 공급하였고 제주지역발전기들이 계통에 병입됨에 따라 2시간 34분 뒤 제주 전지역 계통 복구를 완료하였다.

○ 제주지역 복구시 주요 문제점 및 해결방안

- 과전압문제 : 남제주T/P 모선의 가압시점을 동기조상기 또는 한림 G/T 1기 병입 후로 변경하거나 제주G/T#3의 진상운전 능력 강화
- 복구시 예비력 확보 문제 : 복구 과정시 발전기들의 출력을 약 80% 정도로 운전하고 HVDC의 송전량 제약을 가하여 복구 시행

3. 결 론 및 향후 발전방향

전계통 정전 또는 광역 정전 발생시, 복구계획을 작성하고 급전지시를 내리는 전력거래소와 실제 설비를 운영하는 발전사업자 및 송전사업자의 유기적인 협조가 갖춰졌을 때 신속하고 안전한 복구가 이루어 질 수 있다. 이를 위해 전력거래소에서 복구계획을 만들면 이 복구계획을 기본으로 각 사업자가 담당 분야별 세부복구계획을 작성하여 전계통 정전 및 광역 정전에 대비하고 있다. 따라서 본 논문에서 소개한 복구계획은 우리나라 계통복구시 기본 방향을 제시한다고 할 수 있다.

향후 전계통 정전시 복구계획을 더욱 향상시키기 위해 추진해야 할 과제로는 첫째, 계통복구시 계통운영기준 수립을 들 수 있다. 계통복구시 모선전압 유지기준, 주파수 유지범위, 예비력 확보방안, 부하 복구기준 등 기본적인 계통복구시 운영기준이 조속히 마련되어야 할 것이다. 둘째, 시송전계통 가압 시험을 통한 복구계획의 유효성 평가를 들 수 있다. 현재 계통운영 여건상 자체기동발전기만 점검을 하고 있으나 가능하다면 실제 상황과 유사하도록 자체기동발전소에서 시송전선로를 거쳐 우선공급발전소까지 가압하는 시험을 시행하여 복구계획의 유효성을 실제로 검증해야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력거래소, "전계통 정전시 복구계획", 2006. 12
[2] M. Adibi, P. Clenland, etc. "Power System Restoration-A Task Force Report", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PWRS-2, No. 2, May 1987
[3] 한국전력거래소, "계통운영보조서비스 세부운영지침", 2007