

지역별 시송전선로 검토 및 검증방안에 관한 연구

이남호 송인준 조경보 팍노홍
한국전력공사 전력연구원

A study on the investigation and the verification method of the regional restorative transmission

Nam-Ho LEE In-Jun Song Kyeong-Bo Cho No-Hong Kwak
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Service restoration following a complete or partial collapse starts with reenergizing a transmission line from black-start generators. Voltage problems can arise from Ferranti effect as unloaded transmission line is reenergized and has to be required to consider it when KPX makes a restorative plan on the massive blackout. This paper presents the investigation of seven regional blackstart lines which are chosen by KPX restorative plan and suggests the verification method for the new designed line according to the system modification.

1. 서 론

전력계통은 국가의 기간사업으로 그 특성상 국토의 전반에 걸쳐 설치되어 있다. 또한, 천재지변의 자연재해와 운영자의 오조작 및 설비의 노후화에 의한 고장 등 많은 사고요소를 가지고 있다. 해외의 여러 사고 사례에서 알 수 있듯이 전력계통에서의 사고 발생시 경제적, 사회적 피해는 가히 엄청나다고 할 수 있다. 따라서 해외의 경우 지난 20여 년 전부터 이에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있으나 국내의 경우 계통의 구조적 건설성 및 안정도의 측면에서도 매우 안정적인 구조를 갖추고 있어 계통사고 및 복구에 대한 연구는 미흡한 편이다. 전력계통의 복구 방식은 나라별로 사고 유형이나, 전압레벨, 계통망의 구조 등에 따라 다르므로, 계통복구 전략 또한 상이하다. 그러나 광역 및 전정전의 경우 복구의 첫 단계에서 수력 발전기와 같이 신속하고 자체적으로 기동이 가능한 발전기로 송전선로를 가압하여 대용량 발전기를 기동하는 방식은 거의 동일하다. 본 논문은 국내 전 계통 정전시 한국전력거래소가 선정한 7개 지역별 시송전선로의 검토내용과 계통의 변경 및 증설에 따라 새로 계획되는 시송전 선로의 검증방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전계통 정전시 복구계획과 시송전선로

전력계통 복구의 방법론은 크게 직렬형 복구와 병렬형(지역분할) 복구방식이 있으나 최근에는 제어장치의 성능향상과 통신망의 비약적인 발전에 따라 선진국에는 병렬형 복구방식을 채용하고 있으며, 우리나라 고장복구 절차서 역시 이와 같은 지역분할 복구방식의 관점에서 작성되어 있다. 전정전 또는 광역정전 발생시의 스위칭 전략에 있어서 국내의 복구계획은 “모든 차단기 개방방식”을 채택하고 지역별 시송전선로에 지정된 황색차단기를 제외한 모든 스위치를 개방하도록 정의되어있다. 2003년도 한국전력거래소에서 개정한 전계통 정전시 복구계획에 따르면 우리나라는 전계통 정전시 7개 지역별(경인북부, 경인남부, 중부, 호남, 영남, 영동, 제주) 시송전선로를 기동하여 지역계통을 복구하고 지역간 계통연계를 통해 계통복구를 완료하도록 되어있다. 다음은 복구계획 내에 정의되어있는 시송전선로 관련 용어이며

표 1은 '02년도에 지정된 지역별 시송전선로이다.

- 자체기동발전소(기): 지역별 계통의 신속한 복구를 위하여 사전에 지정된 발전소(기)
- 우선공급발전소(기): 지역별 계통의 신속한 복구를 위하여 자체기동발전소로부터 우선적으로 기동전력을 공급받는 발전소(기)
- 안정후 공급발전소(기): 계통안정후 우선공급 발전소로부터 기동전력을 공급받는 발전소(기)
- 주선로: 자체기동발전소와 우선공급발전소간 계통가압을 위한 시송전선로
- 예비선로: 시송전선로로서 주선로 가압 실패 또는 지연에 대비하여 시송전하기 위한 송전선로
- 황색차단기: 시송전선로의 변전소 및 발전소 차단기 중 전계통 정전 또는 광역정전시 신속한 계통복구를 위하여 반드시 투입되도록 사전에 지정된 차단기

구분	시송전 선로	자체 기동	우선 공급	
경인 북부	I	청평·덕소·도봉·양주·서인천복합	청평수력	서인천 복합
	II	중동·수색·불광·양주·서인천복합	부천복합	
경인 남부	I	동서울·신성남·신시흥·화성·평택·화력	청평수력	평택복합
	II	용인·안성·송탄·평택·포승·원정·평택화력	분당복합	
중부	I	신옥천·청양·보령복합	무주양수	보령복합
	II	신탄전·동대전·신옥천·온진·옥산·서천화력·관장·보령복합	대청수력	
영동	I	강릉·동해·울진원자력	강릉수력	울진 원자력
	II	충주·신재전·신영주·울진원자력	충주수력	
호남	I	정공·담양·북평주·계림·순천·여수화력	섬진강 수력	여수화력
영남	I	북부산·울산·울산복합	삼량진 양수	울산복합
제주	I	북제주·동제주·신제주·한림복합	북제주 D/P	한림복합
	II	북제주·한라·안덕·한림복합	북제주 G/T	

I:주선로, II:예비선로

표 1 지역별 시송전 선로

2003년 개정된 KPX 전계통 정전시 복구계획에서는 경인북부, 중부, 제주계통이 변전소 증설과 계통변경에 따라 시송전계통이 일부 변경되었으며 본 논문에서는 표 1의 시송전 선로를 기준으로 연구가 진행되었다.

2.2 시송전선로 검증방안

시송전계통의 구비조건은 자체기동이 가능한 발전소와

전원의 공급시 기동시간이 빠르고 용량이 큰 우선공급 발전소 및 이를 연결하는 송전선로의 세가지를 만족하여야 한다. 그러나 자체기동발전소와 우선공급 발전소가 결정되었다 하더라도 자체기동발전소가 우선공급 발전소까지의 무부하선로를 가압할 수 있는지의 여부는 검토되어야 하며, 선정이 되었을 경우에도 추가적인 검토가 이루어져야 한다. 전력연구원에서는 기초전력공동공학연구소와 공동으로 "전력계통 고장복구 및 지원교육 프로그램에 관한 연구"과제를 수행하고 연구결과로 시송전선로 검토 알고리즘을 개발하였다. 시송전선로는 무부하로 가압되기 때문에 페란티 현상으로 인한 수전단 전압상승과 발전기의 자기여차현상을 일으키기가 쉽다. 국외에서는 이를 방지하기 위해 자체기동발전기의 초기 가압전압을 0.9[pu]로 설정하고 있다. 그러나 우리나라의 지정된 시송전선로는 선로길이가 짧기 때문에 외국과 같은 고정된 값을 따를 필요가 없으며 계통의 전압상승과 발전기의 무효전력공급한계를 고려한 최적의 발전기 초기 전압값을 산정하는 것이 필요하다. 또한 발전기안정을 위한 소내 부하값과 시송전시 계통의 안정을 위해 투입되는 부하량을 고려하는 검증방안이 필요하다. 전력계통은 그것이 가지는 전기적 특성상 시송전시 이루어지는 스위칭에 대한 변압기 공진과 과도분을 고려하는 동특성 검증방안도 필요하다. 이 모든 것을 종합할 때 다음과 같은 시송전 검증 단계가 요구된다.

- 단계 1: 계통구성을 통한 시송전 선로 선정
 - 자체기동발전기, 우선공급발전기, 황색차단기
- 단계 2: 시송전선로 가압에 따른 정특성 분석
 - 시송전 계통의 전압 Profile
 - 발전기 무효전력공급한계 초과여부
 - 시송전계통 분석시스템 활용
- 단계 3: 계통의 전압상승과 발전기 무효전력공급한계를 고려하고 수전단 전압이 1.0[pu]에 가까운 최적의 자체기동발전기 초기가압전압 결정
- 단계 4: 발전기 소내부하를 고려하고 시송전계통의 안정된 가압을 위한 부하투입량 결정
- 단계 5: 단계 3과 4를 통해 초기가압이 결정되면 스위칭에 의한 과도분을 고려하여 최종 전압값 결정
- 단계 6: 정특성 검토가 성공적이게 되면 동특성 시뮬레이션을 통해 시송전선로의 과도현상과 변압기 공진발생여부 검토
 - EMTDC/RTDS 시뮬레이션
- 단계 7: 변압기 공진 등 이상현상에 의해 시송전이 불가능하게 되면 전압의 초기가압을 현저히 낮추어 초기가압하고 계통안정후 전압상승이 가능한지 검토
- 단계 8: 단계 1- 7의 반복과정을 통해 최적의 시송전 조건 도출
- 단계 9: 발전기 기계적특성과 현장 운용원의 경험이 적용된 시송전 선로 선정 완료

2.3 시송전계통 분석 시스템

시송전 선로의 충전용량과 발전기의 진상무효전력 한계치를 비교하여 시송전의 적정성을 판정하는 해석방법은 시송전 계통을 정밀하게 분석할 수 있으나 계산과정이 복잡하여 수계산이 곤란하고, 또한 앞으로의 부하증가와 더불어 시송전 계통의 변화가 있을 것이므로 현장 운용자들이 용이하게 사용할 수 있는 윈도우즈 환경의 분석시스템이 필요하다. 이와 같은 이유로 전력연구원에서는 GUI(Graphical User Interface), 시송전 분석 모듈, DataBase 관리모듈로 구성되고 Visual Basic, C++ win API등의 프로그램 언어를 사용하여 구현된 시송전 계통 분석시스템을 개발하였다. 분석시스템은 MDI형식을 사용하여 다중창이 아닌 페이지형식으로 화면을 진행시키고, 모든 동작은 마우스와 버튼의 클릭을 이용한다. 그림 1은 시송전 계통 분석시스템에 적용된 알고리즘과 시스

템의 흐름도를 보여준다. 본 시스템은 시송전선로 분석을 위해 계통데이터를 모선, 선로, 발전기, 기타 계통제어요소로 구분하고 사용자가 이를 DB관리시스템으로 구축하면 분석시스템은 시송전 계통도를 자동생성해주고 GUI를 통해 모선부하투입, 말단 전압이 제어 가능한 환경을 제공한다. 분석시스템은 모선부하전류를 계산하여 자체기동발전기의 단자전압을 계산하고 발전기의 최대무효전력공급한계 여부를 분석한다. 분석시스템은 시송전선로의 정특성 분석을 토대로 시송전의 가능/불가능 여부를 판단해 주며 보고서 기능을 통해 그 결과를 출력할 수 있는 기능을 가지고 있다.

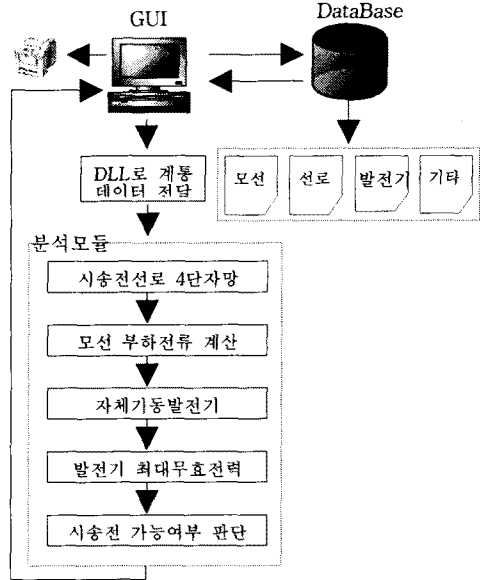


그림 1 시송전 계통 분석시스템 구성도

그림 2와 3은 각각 시스템 제어입력과 분석결과를 보여주는 GUI화면이다. 윈도우즈 환경의 GUI는 시송전 계통을 분석하는데 있어 사용자에게 편리성과 컴퓨터와의 친숙함을 제공하여야 함으로 사용자가 키보드를 통한 타이핑을 최소화하고 마우스를 이용해 시스템을 동작할 수 있도록 설계되었다.

개발된 분석시스템은 현재 한국전력거래소와 전력연구원에서 시송전선로 선정시 정특성 검토용으로 활용 중에 있다.

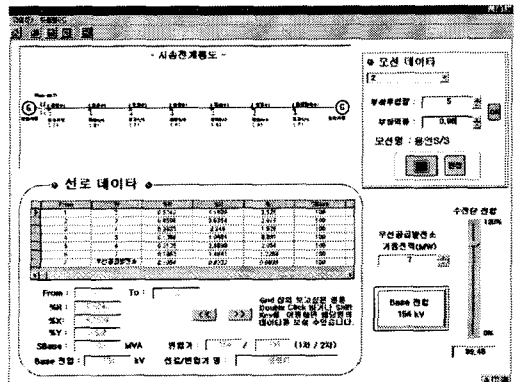


그림 2 시스템 제어입력을 담당하는 GUI 화면

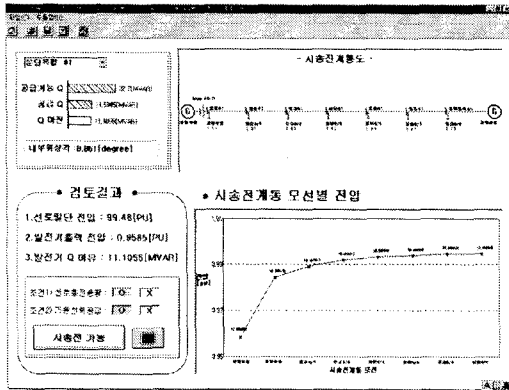


그림 3 분석결과를 보여주는 GUI 화면

2.4 지역별 시송전선로 검토결과

7개 지역의 시송전선로를 검토한 결과 영남지역과 영동예비선로를 제외한 대부분의 지역은 자체기동발전기 0.9[pu] 전후로 가압할 경우 발전기가 공급가능한 무효전력과 출력전압 모두를 만족하는 것으로 확인되었다. 영남지역 역시도 정특성분석을 통해서 는 문제가 없었으나 동특성분석을 통해 시송전선로를 0.935[pu]로 가압하는 순간 고조파 과도전압이 발생하였다. 그리고 영동예비선로는 충주변전소에서 부하투입을 위해 변압기를 가압하는 순간 심각한 고주파 전압의 상승이 유발되어 모의가 불가능하였다. 그 원인에 대해서는 변압기 공진에 의한 현상으로 추정하고 있지만 정확한 원인규명을 위해서는 보다 면밀한 연구가 요구된다. 영남지역과 영동예비의 경우 여자기 설정치를 0.7-0.75[pu]로 낮추어 초기 가압을 하고 계통이 안정된 후 정특성 모의를 통해 도출된 전압으로 올릴 경우 시송전에 성공하는 것으로 분석되었다. 표 2는 7개 지역의 시송전선로 검토를 토대로 제안된 자체기동발전기의 가압조건이다.

지역	구분	발전기	단자전압
경인북부	주선로	청평수력	92
	예비선로	부천복합	96
경인남부	주선로	청평양수	87
	예비선로	분당복합	96
영동	주선로	강릉수력	82
	예비선로	충주수력	70->85
충부	주선로	무주양수	91
	예비선로	대청수력	86
호남	주선로	섬진강수력	86
영남	주선로	삼랑진양수	75->95
	예비선로	제주화력	90
제주	주선로	제주화력	80
	예비선로	제주화력	80

표 2 지역별 자체기동발전기의 단자전압

시송전선로에 대한 정특성 및 동특성분석을 통해 계통의 안정성을 고려한 최적의 조건을 얻을 수 있고 이를 토대로 관련기관에서는 전계통 정전시 복구계획을 수립하는데 활용할 수 있을 것으로 여겨진다. 단 본 논문에서 소개된 내용은 학술적인 관점에서 검토된 사항이기에 실제 복구계획 수립 시에는 계통의 기계적인 특성과 실제 계통의 운전상황 및 조건을 고려하고 계통운영자의 경험 등도 중요한 변수로서 작용해야 된다고 생각된다.

3. 결 론

본 논문에서는 전계통 정전시 계통복구를 위한 우리나라의 7개 지역의 시송전 선로를 검토하고 향후 계통 변경 및 증설에 대한 검증방안을 제시하였다. 미국, 영국, 이탈리아 등 최근 발생한 국외의 대규모 광역정전의 사례를 통해 알 수 있듯이 정전으로 인한 그 피해는 천문학적인 복구비용을 요구하며 이에 대한 국가적인 대비책이 절실하다. 따라서 전정전 및 광역정전에 대한 정확한 복구계획은 실제 정전 발생시 엄청난 경제적 절감효과를 가지고 올 것으로 기대되며 본 논문에서 제시한 검증방안과 검토결과가 복구계획 수립에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 또한 복구계획의 수립과 함께 이에 대한 계통운영원의 이해와 복구모의를 위한 고장복구 교육훈련시스템의 활용도 중요하리라 여겨진다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. Adibi, P. Clelland, L. Fink, H. Happ, R. Kafka, J. Raine, D. Scheurer, F. Trefny, "Power System Restoration - A Task Force Report" IEEE Trans. on PWRS, Vol. 2, No. 2, May 1987
- [2] Gaston Morin, "Service Restoration Following A Major Failure On The Hydro-Quebec Power System" IEEE Trans. on PWRD, Vol. 2, No. 2, pp. 454-462, April 1987.
- [3] E. Mariani, F. Mastroianni, V. Romano, "Field Experiences In Reenergization Of Electrical Networks From Thermal And Hydro Units", IEEE Trans. on PAS, Vol. 103, No. 7, pp. 1707-1713, July 1984.
- [4] Micael B.Benson, "Electric System Training with Programmable Controllers", IEEE Computer Applications in Power, January 1989
- [5] Joseph D.Willson, "Power System Restoration Training Questionnaire Results", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.11, No.3, August 1996
- [6] 이홍재 외 7인, "Analysis of the Primary Restorative Transmission System", ICEE 2002, July 2002
- [7] 송인준 외 7인, "전력계통 고장복구 및 지원교육 프로그램 개발에 관한 연구(최종보고서)", 한국전력거래소, 2003. 5
- [8] 김경호 외 2인, "전계통 정전시 전력계통 고장복구 절차서", 전력연구원 기술간행물 '02 단101, 2002. 3
- [9] 한국전력거래소, "전계통 정전시 복구계획", KPX 계통기술처, 2002. 9