

RTDS를 이용한 제주계통 고장복구 훈련시스템 개발

이남호\* 조운성\* 이육화\* 차승태\*\* 김태균\*\*  
 LS산전\* 전력연구원\*\*

Development of The Restoration and Training system for Jeju network using RTDS

N.H LEE\* Y.S CHO\* W.H LEE\* S.T CHA\*\* T.K KIM\*\*  
 LSIS\* KEPRI\*\*

**Abstract** - Power system restoration following a massive blackout starts with reenergizing of primary transmission lines. This paper presents the restoration and training system for Jeju network using RTDS. System operators can simulate the jeju restorative procedures from primary transmission lines to all the system topology written by KPX in the real time. Owing to the efficient restoration training by the system, It is expected to restore the power system rapidly and accurately when a massive blackout occurs, and also the system helps student understand the restoration method.

1. 서 론

계통의 구조적인 측면에서 볼 때, 선진국의 계통은 우리나라보다 상대적으로 취약하므로 광역정전의 사례가 많이 발생하였으며, 특히 스웨덴과 같이 취약한 루프구조를 가진 나라에서는 빈번한 사고가 발생하였다. 따라서 해외에서는 지난 20년간 신속하고 신뢰성 있는 복구를 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔으나, 우리나라에서는 이에 대한 체계적인 학술연구가 수행된 바 없었으며, 이는 우리나라의 계통이 해외의 선진국과 대비하여도 손색이 없는 설비를 갖추고 있고, 동적 안정도의 측면에서도 매우 안정적인 구조를 갖추고 있는데 기인한다. 그러나 비록 우리 계통에서 광역정전이나 전정전이 발생할 확률은 극히 적지만, 최근 발생한 유럽과 캐나다에서의 연속적인 광역정전의 발생과 그 피해규모를 볼 때 체계적인 복구방법론의 확립은 매우 중요하다. [1,2,3,4]

육지계통과 달리 제주계통은 태풍 등의 기상조건과 HVDC사고로 인한 육지계통과의 단절시 제주계통 전체가 정전이 되는 경험이 있으며 이에 대한 대비책 역시 육지계통보다 체계적으로 잘 되어있고 계통 운영자의 복구 경험도 풍부한 편이다. 따라서 본 논문의 목적은 한국전력거래소에서 작성한 제주계통 전계통 정전 시 계통 복구 절차에 대하여 전력계통 운영 실무자들이 실시간 시뮬레이터(RTDS) 모의를 통한 계통 복구 훈련을 수행하는 데 있다. 본 연구에서 개발된 제주계통 고장복구 훈련시스템은 제주계통 전계통 정전 발생 시 복구의 첫 단계로 시행되는 시송전에서 Loop계통 구성에 의한 제주계통 전계통 복구까지의 절차에 대해 다루고 있으며 계통 복구를 위한 부하 투입량은 한국전력거래소 제주지사 EMS 시스템의 2005년 6월 16일 11시 P, Q 데이터를 기준으로 사용하였다. 제주지역의 전계통 시송전 복구전략은 육지계통과 동일한 모든 차단기 개방 스위칭 전략이 적용되며 RTDS 계통 복구 훈련시스템은 제주 계통의 PSS/E 데이터를 데이터컨버전프로그램을 사용하여 RTDS Draft 파일로 변환하였다. 훈련자는 한국전력거래소의 복구 절차에 따라 발전기 전압, 차단기, 부하투입을 제어하여 계통복구를 수행할 수 있다.

2. 본 론

2.1 제주 시송전 계통 복구 절차

제주지역에 광역정전이 발생되면 한국전력거래소에 작성한 그림 1의 시송전계통을 통해 시송전 복구절차가 진행된다. 제주지역의 시송전 선로는 주선로와 예비선로가 존재하지만 육지계통과 달리 예비선로는 주선로가 불가능시에 적용된다. 제주계통의 자체기동발전기는 제주 G/T #3이고, 우선공급발전소는 한림G/T이다.

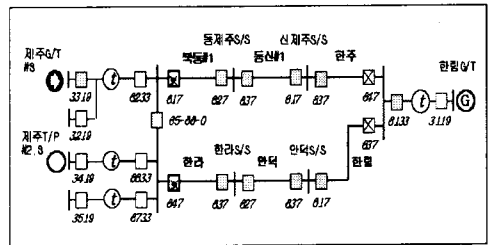


그림 1 제주 시송전 계통도

아래 표1과 표2의 내용은 제주 시송전 계통의 주선로와 예비선로 복구절차이다.

구분	단계	복구 절차	비고
주선로	1	·제주G/T #3 기동 ·제주G/T #1 기동(예비) ·제주T/P 모선가압 - 모선우입 확인 후 6233 차단기 투입	·최대 발전력: 55MW ·발전기 단차전압 유지범위: 정격의 90% ·G/T#3 기동 실패시 G/T#2 기동
	2	·주선로 가압 (제주화력 617 차단기 투입) ·한림복합 기동전력 공급 - 한림복합 647 차단기 투입 ·제주T/P #2,3 소내전력 공급 - 제주화력 6633, 6733 차단기 순차적 투입	·한림C/C #1 기동을 원칙으로 하되, 운전 여건에 따라 #2 G/T용 차단기 투입가능
	3	·제주G/T, 한림복합 추가기동 및 계통병입 ·발전기 안정운전에 필요한 최소한의 부하 공급 및 안정후 공급발전소 기동전력 공급	·안정후 공급발전소 제주화력, 남제주화력

표 1 제주 시송전 계통 주선로 복구절차

구분	단	복구절차	비고
예비선로	1	·황색 차단기 이외 모든 차단기 개방 ·제주G/T #3 기동 ·제주T/P 모선가압 - 모선무압 확인 후 6233 차단기 투입	·예비선로는 제주G/T #3 기동 후 주선로로 가압 불가시 적용 ·발전기 단자전압 유지범위: 정격의 80%
	2	·예비선로 가압 - 제주화력 647 차단기 투입 ·한림복합 기동전력 공급 - 한림복합 637 차단기 투입 ·제주T/P #2,3 소내전력 공급 - 제주화력 6633, 6733 차단기 투입	·한림C/C #1 기동을 원칙으로 하되, 운전여건에 따라 #2 G/T용 차단기 투입가능
	3	·제주G/T, 한림복합 추가기동 및 계통병입 ·발전기 안정운전에 필요한 최소한의 부하 공급 및 일반발전소 기동전력 공급	
특기사항		·시송전선로 가압 전 황색 차단기 이외 모든 차단기 개방 확인 ·소내운전중 발전기 및 자체기동가능발전기는 급전지시에 따라 지역 내 부하 단독계통 공급 후 동기조작 가능개소에서 계통연계	

표 2 제주 시송전 계통 예비선로 복구절차

### 2.1.1 제주 시송전 계통 주선로 모의

시송전 계통을 모의하기 위해서는 RTDS에 새롭게 계통을 모델링하기보다는 서두에 언급한 것처럼 PSS/E의 데이터를 변환한 후 차단기를 삽입하고 모델을 튜닝하는 과정을 거치게 된다. 그림 2는 변환된 제주 시송전 계통의 자체기동발전기로 선정된 제주G/T를 보여주고 있으며 주선로 모의는 제주G/T 3호기를 기동하여 동제주 S/S와 신제주S/S를 거쳐 우선공급발전기인 한림복합에 기동전력을 공급하는 과정을 수행한다. 시송전중에는 전력거래소 급전실과 한전제주지사의 전원을 확보하기 위해 신제주S/S에 5MW의 전력을 공급한다.

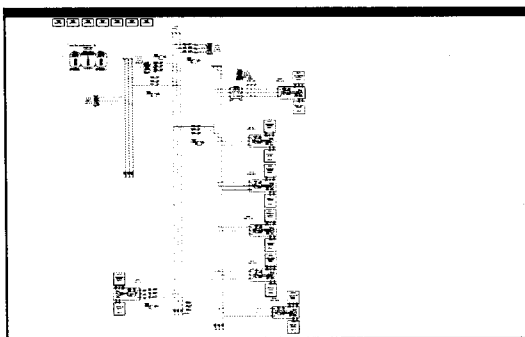


그림 2 제주화력 발전소

시송전 모의의 경우 훈련자에 의한 사전 차단기 조작 없이 제주계통에 정전전압이 발생된 것으로 가정하여, 실시간 모의훈련시스템은 다른 차단기와 달리 시송전 선로상에 위치하는 황색차단기를 closed된 상태에서 모의할 수 있도록 RTDS 드래프트를 설정한다. 시송전이 이루어지면 무부하의 가압상태에 이르게 되어 송전선의 무효성분 즉 커패시턴스의 영향에 의해 레판티 효과가 발생하게 되며 이로 인해 시송전 계통상의 모선 전압은 말단에 이룰수록 전압이 상승하게 된다. 그림 3은 제주계통

고장복구 훈련시스템이 보여주는 제주계통의 모선전압과 자체기동발전기 제주 G/T#3의 모니터링 화면이다.

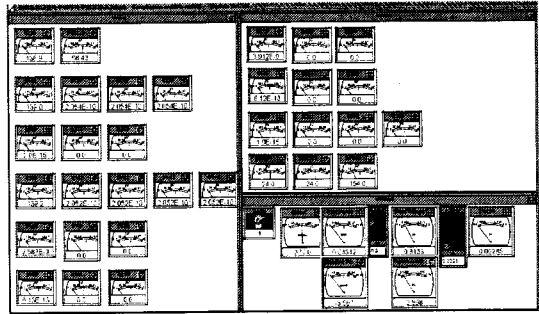


그림 3 제주계통 시송전 주선로 모니터링 화면

제주계통 주선로의 모의결과를 통하여 그림 4와 같이 모선 전압의 프로파일을 작성하면 레판티효과로 인한 모선 전압 상승현상을 확인할 수 있다.

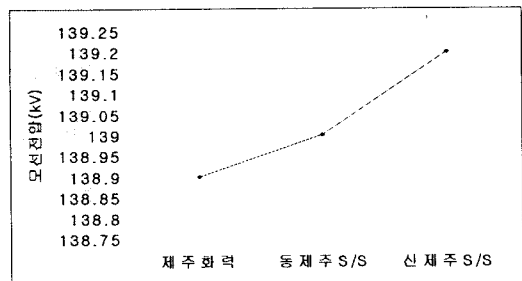


그림 4 시송전 주선로 전압프로파일

### 2.1.1 제주 시송전 계통 예비선로 모의

제주계통의 시송전 주선로가 불가능할 경우 사용하게 되는 예비선로는 주선로와 동일한 자체기동발전기인 제주G/T를 기동하여 한라S/S와 안덕S/S를 연결하는 시송전 선로를 거쳐 우선공급발전기인 한림복합에 기동전력을 공급하게 된다. 시송전 중에는 주선로와 마찬가지로 전력거래소 급전실과 한전제주지사의 전원을 확보하기 위해 신제주S/S를 가압하여 5MW의 전력을 공급하며 시송전으로 인한 모선전압상승 현상을 그림 5와 같이 관찰할 수 있다.

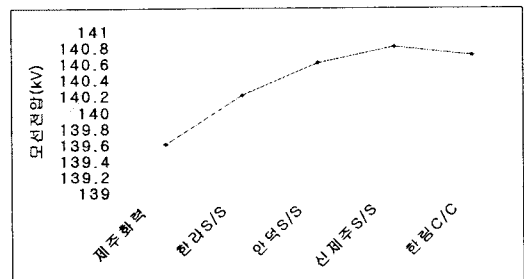


그림 5 시송전 예비선로 전압프로파일

### 2.2 제주계통 전계통 복구

육지계통의 경우 시송전 이후의 복구 전략은 계통의 복잡성과 연계 등의 문제로 인해 구체적인 복구절차가 수립되어 있지 않다. 하지만 제주계통의 경우는 수차례의 정전전 복구 경험을 토대로 제주계통에 가장 적합한

시송전 이후의 전계통 복구절차가 작성되어 있으며 실제 전계통 정전이 일어났을 때 복구절차에 의해 전계통 복구를 수행한 경험이 있다. 제주계통 고장복구 시스템은 실시간 시뮬레이터인 RTDS를 사용하기 때문에 전계통 복구의 경우 시스템의 특성을 고려하여 실제의 복구절차를 수정할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 시스템 특성을 고려하고 시송전 주선로의 성공을 전제하는 다음과 같은 제주계통 전계통 복구시나리오를 작성하였다.

- 제주G/T #3 1.0[PU] 송압
  - 한림C/C 6133CB 투입: 한림복합C/C #1, 2, 3 계통병입
  - 한림C/C 637 CB 투입
  - 제주화력 6633CB 투입: 제주화력 G/T #1, 2, 제주내연 계통병입, 변환소 T/L 연결
  - 신제주S/S 부하투입
    - MTr #1 5MW, 1.56MVar => 10MW, 3.122MVar
    - MTr #3 5MW, 1.56MVar => 10MW, 3.122MVar
    - MTr #4 5MW, 1.56MVar
  - 동제주S/S 부하투입
    - MTr #1 5MW, 1.56MVar => 10MW, 3.122MVar
    - MTr #2 5MW, 1.56MVar => 10MW, 3.122MVar
    - MTr #3 5MW, 1.56MVar => 10MW, 3.122MVar
  - 안덕 S/S 647CB 투입
  - 남제주화력 617CB 투입: 남제주기력 기동전란 공급
  - 남제주화력 6133CB 투입: 남제주T/P #1, 2 계통병입
  - 남제주화력 6233 CB 투입: 남제주D/P #1, 2 계통병입
  - 남제주화력 6333 CB 투입: 남제주D/P #3, 4 계통병입
  - 제주화력 537CB 투입: 제주기력 #1 기동전력 공급 및 계통병입
  - 배전선로 공급('05년 6월 16일 11시 기준)
    - 신제주S/S: 67MW, 16MVar(4기 MTr 각 16.75MW, 4MVar)
    - 동제주S/S: 69MW, 18MVar(3기 MTr 각 23MW, 6MVar)
    - 안덕S/S 6133 CB투입: 30MW, 6MVar(2 MTr 각 15MW, 3MVar)
    - 한림C/C 6533 CB투입: 30MW, 8MVar(2 MTr 각 15MW, 4MVar)
- 송전계통 LOOP 구성**
- 동제주S/S 637CB 투입: 산지#1, 2T/L, 북동 T/L 가압
  - 산지S/S 617CB 투입: 산지S/S 모선 가압
  - 산지S/S 6133, 6233 CB투입: 산지S/S MTr 가압
  - 제주화력 647CB 투입: 한라T/L 가압
  - 신제주S/S 627CB 투입: 신안T/L, 동신 #2T/L 가압
  - 안덕S/S 627CB 투입
  - 성산S/S 617CB 투입: 성산S/S 모선가압
  - 성산S/S 6133CB 투입: 성산S/S MTr #1, 2, 3 투입
  - 신서귀S/S 627CB 투입: 신서귀S/S 모선가압
  - 신서귀S/S 6133CB 투입: MTr 가압
  - 한라S/S 647CB 투입: 한성T/L 가압
  - 성산S/S 627CB 투입
  - 신서귀S/S 617CB 투입: 남원T/L 가압
  - 하나S/S 617CB 투입
  - 배전선로 공급
    - 성산S/S: 8MW, 13MVar(2기 MTr 각 4MW, 6.5MVar)
    - 신서귀 S/S MTr #1: 2.4MW, 2.5MVar
    - 한라S/S 6133CB 투입: 19MW, 6MVar(2기 MTr 각 9.5MW, 3MVar)
    - 산지S/S: 14MW, 3MVar(2기 MTr 각 7MW, 1.5MVar)
  - 변환소 6433, 6533CB 투입: 변환소 수전
  - 남제주화력 627CB 투입: 남제#2 T/L 연결
  - 동제주S/S 667CB 투입: 동신 #2T/L 연결
  - 산지S/S 617CB 투입: 산지 #2 T/L 연결

본 시스템을 사용하는 훈련자는 위의 복구시나리오에 따라 차단기와 발전기 전압, 부하투입을 실행할 경우 성공적으로 제주계통의 복구작업을 수행할 수 있으며 제주계통의 최종 결과는 그림 6과 같다.

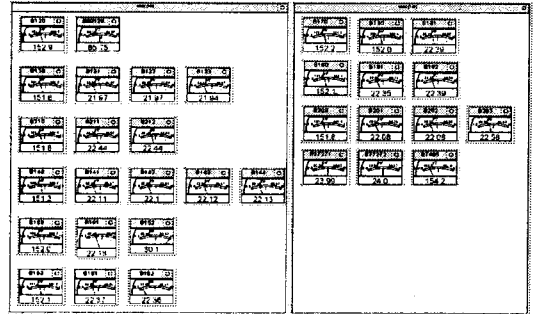


그림 6 제주계통 전계통 고장복구 완료 후 모선 전압

### 3. 결 론

국내의 대규모 정전사고를 통해 알 수 있듯이 빠르고 정확한 복구 대비책이 없으면 엄청난 경제적 피해뿐만 아니라 사회적으로도 큰 혼란을 야기할 수 있다. 국내의 경우 전력계통의 구조가 다른 국가에 비해 비교적 견고하기 때문에 전계통 정전 발생의 경우가 낮은 편이지만 이에 대한 실제적인 대비책과 계통운영자에 대한 효과적인 사전 훈련은 반드시 필요하다고 여겨진다. 본 논문에서는 훈련자가 계통의 복구절차를 실제 상황과 동일한 환경에서 수행할 수 있는 실시간 복구 훈련시스템을 개발하였고, 이를 통해 전계통 정전의 가능성이 있는 제주계통에 대한 복구훈련에 상당한 효과가 있을 것이라고 기대한다.

### [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, pp. 271-277, May 1987.
- [2] M. M. Adibi et al., "Power System Restoration - A Second Task Force Report", IEEE Trans. on PWRS, Vol. 2, No. 4, pp. 927-933, November 1987.
- [3] 이홍재외 6명, "EMTDC를 이용한 시송전 계통의 고조파 공진 분석", 대한전기학회지, 4월호, 2005년
- [4] 한국전력거래소, "전력계통 고장복구 및 지원교육 프로그램 개발에 관한 연구(최종보고서)", 2003.05