

RTDS를 이용한 전계통 정전시 호남지역 시송전선로 검토

봉우영 · 김기동 · 이명래 · 이남호
전력연구원

RTDS Simulation for the System Blackstart of the Honam Area

O.Y. Bong · K.D. Kim · M.R Lee · N.H. Lee
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - When a wide area blackout occurs, reenergizing transmission lines should be done at first. The KEPCO(Korea Electric Power Corporation) divides whole power system grid into seven subsystem. This paper describes the investigation of facts, such as voltage rising and system stability, which occur in case that the blackstart plant of the Honam area will be displaced from Juam H/P to Seojingang H/P.

1. 서 론

광역 정전 발생시 병렬형 복구 방식이 신속한 복구 수행에 적합하며, 세계 여러 계통의 복구 방식이 이를 따르고 있다. [1] 국내 계통은 7개의 분할 계통으로 나누어져 있으며, 각 분할 계통을 복구하기 위해서 시송전 계통이 지정되어 있다. 이러한 시송전 계통은 정전 발생시 계통복구계획을 따르게 되어 있으나, 우리나라는 아직 광역정전 또는 전정전의 발생 경우가 없으므로, 실제 이러한 상황의 발생시 수립된 복구계획 수행상에서 예기치 못한 문제가 발생할 우려가 있으므로 이에 대한 검토 작업이 필요하다. 본 논문에서는 호남지역 자체기동발전기가 주압수력에서 섬진강수력으로 바뀔 경우 시송전 계통의 재검토가 필요하여 섬진강수력의 가압에 따른 발전기 자기여자현상, 페란티 현상, 그리고 계통의 안정도를 RTDS(Real Time Digital Simulator)을 사용하여 검토하였다.

2. 호남지역 시송전계통 해석

대정전 발생 후 계통 구조를 단순화하기 위해서는 모든 차단기를 개방시키는 전략을 사용하고, 모든 부하는 차단되어 있는 상태이다 [2]. 현재 한전의 복구 계획도 황색차단기를 제외한 차단기는 모두 개방하는 것을 원칙으로 하고 있으며, 시송전시 자체기동발전기의 단자전압은 무부하 상태에서 선로 말단의 과전압을 고려하여 [3] 발전기 정격의 0.9(pu)로 가압한다.

2.1 호남지역 시송전계통

호남지역 시송전 계통은 섬진강 수력 발전소를 자체 기동 발전소로 하여 우선 공급 발전소인 여수 화력 발전소에 시송전 선로를 통해 전력을 공급하는 형태이다. 대상계통의 데이터는 다음과 같다.

- 송전선로 파라미터
 - : 그림 1에서 임피던스와 서셉턴스는 %값, 기준 전압 (154kV), 기준 용량 (100MVA)
 - : 송압 변압기 (10.5:154kV, 11%, 35MVA)
- 발전기 파라미터
 - : 1대, 1.0[p.u], 0.9, 32[MVA], 11[kV], 5[%]

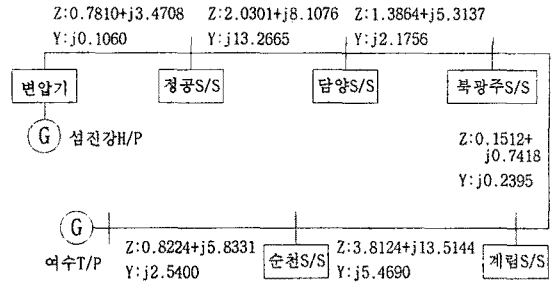


그림 1. 호남지역 시송전 계통

2.2 전압상승률 검토

호남지역 시송전선로 가압시 선로의 전압상승률을 고려하여 발전기 단자전압을 결정해야한다. 선로의 전압상승률을 구하기 위해서는 그림2와 같이 선로를 T형으로 등가화하여 4단자 정수중 A값을 통해 전압상승률을 계산할 수 있다.

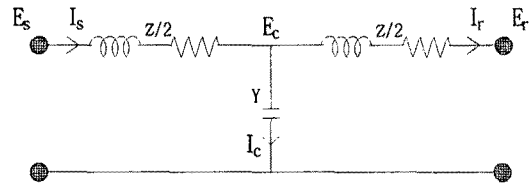


그림 2. T형 등가회로

$$\begin{bmatrix} E_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_r \\ I_r \end{bmatrix}$$

시송전에서는 수전측 전류가 0이므로,

$$E_s = A \cdot E_r, I_s = C \cdot E_r$$

무부하 송전 선로의 가압에서 수전측 전압이 송전측 전압보다 높으므로 다음과 같이 전압 상승률을 구한다.

$$\begin{aligned} \frac{E_r - E_s}{E_s} \times 100 &= \frac{E_r - A \cdot E_r}{A \cdot E_r} \times 100 = \left(\frac{1}{A} - 1\right) \times 100 \\ &= \left(\frac{1}{1 + \frac{ZY}{2}} - 1\right) \times 100 = \frac{-ZY}{2 + ZY} \times 100 \end{aligned} \quad (1)$$

단, E_r : 수전측 전압 E_s : 송전측 전압

Z : 선로 임피던스 Y : 선로 서셉턴스

A : 4단자 정수

호남지역 시송전계통의 4단자망 행렬값은 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{(시송전)} = \begin{bmatrix} 0.929 + j0.0069 & 20.53 + j159.76 \\ -0.0 + j0.0006 & 0.977 + j0.0053 \end{bmatrix}$$

식 (1)에 대입하여 선로의 전압상승률을 구하면 약 7.6697(%)이므로 이때 선로말단의 전압을 154kV로 유지하려고 하면 섬진강수력의 발전기전압은 $((x \times 154) + 10.5) \times 1.076697 = 154$

$\therefore x = 9.752[kV]$ 이다.

3. RTDS 시뮬레이션

3.1 RTDS 모델링

RTDS 시뮬레이션을 위해 그림 3과같이 섬진강 수력과 시송전선로(섬진강 수력~여수화력) 만으로 구성된 해석 대상계통을 구성하였다. 섬진강 수력 발전기는 원래 2대로 구성되어 있으나, 발전기 투입에 따른 제반 현상의 모의를 용이하게 하기 위해 1대로 등가 통합하였다. 동일한 형태의 발전기 등가통합은 발전기 용량을 합산하고(32MVA) 송압 변압기의 % 임피던스는 동일하게 모델링한다. 송전선로는 주어진 선로 임피던스를 이용하여 각각의 송전선로를 모델링하였다. 또한, 발전기 제어시스템에 대한 모델과 데이터가 없기 때문에 일반적으로 사용되는 모델을 사용하였다. 여자제어 시스템은 수력 발전기에 널리 쓰이는 IEEE11 모델, 조속기는 HYGOV 수력 조속기 모델을 각각 사용하였다. 또한, 각각의 제어기 모델에 대한 입력 파라미터 역시 Typical 한 값을 이용하였다.

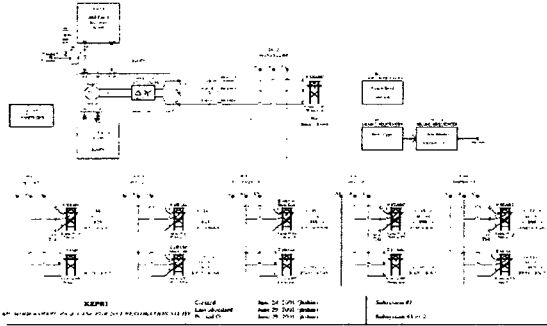


그림 3. 호남지역 시송전선로 계통모델링 (섬진강 수력~순천 S/S)

3.2 여수T/P 무부하시

무부하 송전선로에 섬진강 수력 발전기를 투입, 제반 현상을 모의하기 위해 먼저 송전선로와 분리된 발전기를 기동한 후, 차단기를 이용하여 무부하 송전선로를 가압한다. 발전기 기동전에는 AVR(자동전압 조정장치) 기준신호 값을 변동하여 원하는 발전기 단자전압을 유지하도록 모의하였다. 호남지역 시송전계통의 무부하시 RTDS 시뮬레이션결과는 표1과 같다.

표 1 시뮬레이션 결과

섬진강 수력	P (MW)	Q (MVar)	모선별 단자전압[kV]						여수화력	주파수
			섬진강	정공	담양	복광주	계림	순천		
0.8	0.063	-10.4	135	136	137	138	138	138	139	377
0.84	0.069	-11.4	142	143	144	145	145	146	146	377
0.86	0.073	-12	145	146	147	148	148	149	149	377
0.88	0.008	-12.4	148	148	150	151	151	152	152	377
0.9	0.078	-13.1	152	153	154	155	155	156	156	377
0.96	0.09	-14.9	162	163	164	165	165	166	167	377
1.0	0.098	-16.1	169	169	171	172	172	173	173	377

시송전선로의 평균 전압 상승률은 약 7(%)이고 시송전시 여수화력의 전압을 154[kV] ±10% 범위내로 유지하기 위해서는 섬진강수력의 단자전압을 표2에 따라 0.8[pu] ~ 0.96[pu]의 범위로 가압하고, 여수화력의 전압을 154[kV]로 유지하기 위해서는 섬진강수력 발전기의 단자전압을 약 0.89[pu]로 가압하면 된다.

3.3 여수T/P 유도전동기 기동

여수화력 기동용 유도전동기는 EMTP를 사용하여 아래와 같은 유도전동기 Parameter를 구했고, 이를 토대로 RTDS Modeling(그림 4)을 하였다.

- Motor Type : Squirrel Cage Motor(Single)
- Rated Voltage : 6.600V
- Motor HP rating : 5800
- Power factor : 0.882
- Efficiency : 0.944
- Starting Current : 4.78 (p.u)
- Inertia : 272.65 (kg · m²)
- Ra(stator resistance, pu) : 0.004545
- Xa(stator leakage reactance, pu) : 0.067932
- Xm(Magnetizing reactance, pu) : 4.282276
- R1(Rotor Cage resistance, pu) : 0.044644
- X1(Rotor Cage reactance, pu) : 0.067932

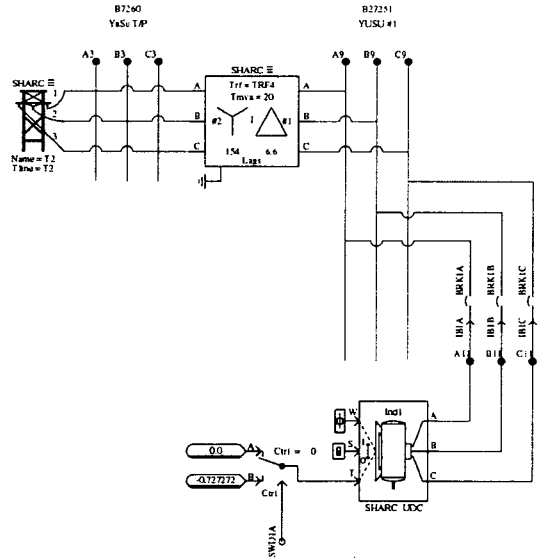


그림 4 RTDS 유도기 모델링

RTDS의 유도기 모델은 발전기와 전동기를 동시에 사용하도록 구성되어 있으므로, 부하 토오크 인가시 주의를 요하도록 한다. 유도기 모델의 내부 가속력 방정식은 아래와 같이 구성되어 있으므로 유도 발전기로 구동하기 위해서는 기계적인 부하토크 입력치 Tm을 (+)값으로 주고, 전동기로 구동하기 위해서는 (-)값으로 입력한다. 모터에 의해 생성되는 전자기적 토오크와 기계적 부하토크사이의 차가 회전체를 가속하게 된다.

$$T_e + T_m = J \frac{d\omega_m}{dt} = J \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

또한, 전동기 회전자는 섬진강측 전원인가 후 전동기 기동(투입)전에는 정지상태에 있어야하므로, 전동기측 차단기 투입 후에, 외부 부하토크를 인가하도록 한다.

RTDS 시뮬레이션은 체기동발전기인 섬진강H/P를 가압하여 우선공급발전기인 여수화력을 기동할 때 시송전 계통의 안정도를 검토하고 유도전동기 기동에 의한 계통의 과도현상을 모의하였다. 여수화력 기동모터 투입효과에 대한 시뮬레이션은 섬진강 수력 발전기 단차전압이 0.89, 0.9, 1.0 [pu] 각각 일 때에 대하여 부하토크가 1~4MW 까지 총 12번의 Case를 구성하여 시뮬레이션 하였으며, 그림 5는 섬진강수력 발전기 단차전압이 0.9(pu)이고 기동부하가 4MW일 경우의 섬진강발전기측 유효무효전력 결과파형이다.

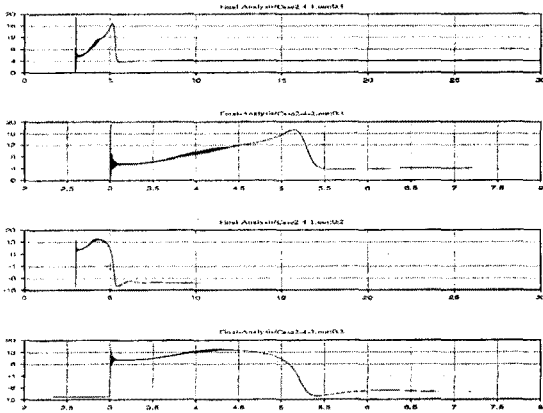


그림 5 섬진강H/P P, Q

그림 6은 계통주파수, 여수화력 전압, 모터기동전류, 섬진강수력 전압의 결과 파형이다.

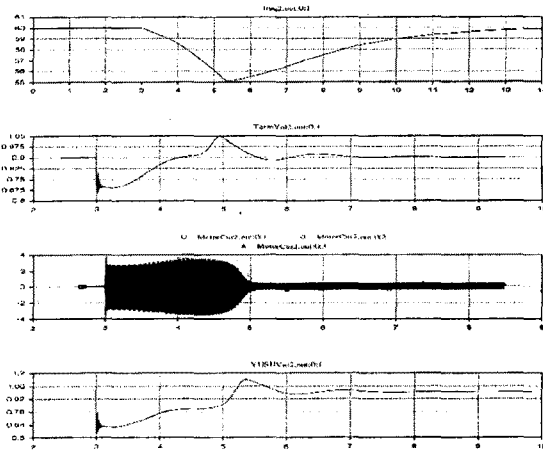


그림 6 결과파형

표 2에서 계통의 전압, 주파수, 무효전력이 무부하시에 비해 감소함을 알 수 있고, 유도전동기 기동에 따른 과도현상을 검토하면 유도전동기 부하(4MW) 기동시 정격전류의 3~4배의 기동전류로 인하여 시송전 계통주파수가 섬진강 발전기 단차전압 1.0(pu)일 때 최대 55.0Hz까지 감소하나 섬진강수력 발전기의 조속기가 작동하여 10Sec 정도 후 정상주파수로 복구하는 것을 알 수 있다. 또한 자체기동발전소인 섬진강H/P의 P, Q 값을 통해 섬진강H/P가 여수화력의 기동부하를 공급하고 계통의 무효전력을 흡수함을 알 수 있다.

표 2 시뮬레이션 결과

섬진강수력	여수화력기동부하	섬진강 H/P		모선별 단차전압						여수화력	주파수
		P	Q	섬진강	정공	담양	북광주	계림	순천		
0.89	1	1.09	-11.4	179	150	151	152	152	153	153	377
	2	2.1	-11.3	149	150	151	152	152	152	152	376
	3	3.11	-11.1	149	150	151	151	152	152	152	376
	4	4.12	-10.8	149	149	151	151	151	152	152	375
0.9	1	1.09	-11.6	151	152	153	154	154	154	154	376
	2	2.1	-11.5	151	152	153	153	153	154	154	376
	3	3.11	-11.3	151	151	153	153	153	154	154	376
	4	4.13	-11	151	151	152	153	153	153	153	375
1.0	1	1.11	-14.3	168	168	170	170	170	170	171	377
	2	2.12	-14.2	167	168	170	170	170	171	171	376
	3	3.12	-14	167	168	169	170	170	171	171	376
	4	4.13	-13.8	167	168	169	170	170	170	170	375

4. 결 론

RTDS 시뮬레이션을 통해 호남지역 시송전선로의 자체기동발전기로 선정된 섬진강수력 발전기가 시송전선로의 충전용량을 충분히 흡수할 만큼의 무효전력을 생산하고 우선공급발전소인 여수화력 기동을 위한 유도전동기 투입시에도 시송전계통이 붕괴되지않고 주파수와 전압이 안정범위 내에 드는 것을 확인할 수 있었다. 향후에는 계통의 안정화를 위해 변전소 소내부하와 일반부하를 투입했을 경우 시송전계통에 일어나는 동특성 현상을 검토 하려고한다.

(참 고 문 헌)

- [1] E. Mariani, F. Mastroianni, V. Romano, "Field Experiences In Reenergization Of Electrical Network From Thermal And Hydro Units", IEEE Trans. on PAS, Vol. 103, No. 7, pp. 1707-1713, Jul. 1984.
- [2] Edward J. Simburger, Francis J. Hubert, "Low Voltage Bulk Power System Restoration Simulation", IEEE Trans. on PAS, Vol. 100, No. 11, pp. 4479-4484, Nov. 1981.
- [3] M.M.Adibi, R.W.Alexander, B.Avrarnovic, "Over-voltage Control During Restoration", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 7, No. 4, pp. 1464-1470, Nov. 1992.