

765 kV 송전선로에서의 이중 전압등급 병행 운전시의 유도현상 예측 및 실측 결과

*곽주식, *강연욱, *심음보, *전명렬, *우정욱, **방항권
*한진 전력연구원, **한국전력공사

Prediction and Measurement of Induction Phenomena in the 765 kV Double Circuit Transmission Line operated with two voltage grades

*J.S.Kwak, *Y.W.Kang, *E.B.Shim, *M.R.Jeon, *J.W.Woo **H.G. Bang
*KEPRI, **KEPCO

Abstract - The western route of KEPCO's 765 kV transmission line has been tentatively operating as 345 kV voltage before commercial operation. KEPCO decided to operate the 765 kV line for commercial operation after completing the test operation of 765 kV substation in 2002. In the process of energizing the line as 765 kV voltage, double circuit transmission line will be operated with two voltage grades of 765 kV and 345 kV. As the earthing switches are installed on both ends of the line, electrostatic induction voltage and electromagnetic induction current were calculated prior to the line energizing in order to confirm the ratings. The induced voltage and current are important for the maintenance of the parallel circuit. This paper presents the simulation results of electrical phenomena such as electrostatic induction voltage and electromagnetic induction current from the parallel line. The transmission line was modeled by EMTP (Electro-Magnetic Transient Program). The simulation results were compared with the measured results at the field.

1회선은 운전 상태에서 1회선만이 휴전되는 조건이 발생하게 되며 이러한 운전조건에서 휴전선로에 예상되는 유도 전압과 전류의 크기를 사전에 예측하게 되었다. 2회선의 송전선로에는 6상의 전력선이 평행하게 배치되어 있다. 각 전력선들은 대지와 그리고 인접하고 있는 다른 전력선들과 정전용량 및 상호 인덕턴스에 의하여 전기적으로 결합되어 있기 때문에 2회선중 1회선만에 전압이 인가되는 조건에서도 전원이 가압되지 않은 회선의 전력선에는 정전용량에 의한 정전유도 전압이 나타나게 되며 가압되어 있는 전력선에 전류의 흐름이 존재하게되면 전자 유도전류가 가압되어 있지 않은 도체들에도 유도되어 나타나게 된다. 이러한 유도전압과 전류는 선로의 휴전시에 양단에 설치된 접지 스위치를 통하여 대지로 방전되어 진다. 본 논문에서는 이러한 시험운용기간과 상업운전초기에 존재하는 몇몇 운전조건들하에서 345 kV 및 765 kV 가압 선로에 의한 정전유도 및 전자유도현상을 EMTP (Electro-Magnetic Transient Program) 해석모델을 수립하여 예측 계산한 결과를 다루고 있다. 송전선로 양단에 위치한 접지 스위치(ES)의 조작조건에 따른 송전선로상의 거리별 유도 전압과 전류들값이 계산되었다. 1350A의 부하전류를 공급중인 345 kV 전압의 실 선로에서 측정된 유도 전압과 전류값들과 예측계산결과와의 비교를 통하여 사용된 EMTP 해석모델의 유효성을 확인하였다.

1. 서 론

한국전력공사의 765 kV 서해안 계통 송전선로는 본격적인 상업운전에 앞서 345 kV 전압으로 시험 운전을 시작하였다. 2002년 765 kV 변전설비의 시험을 완료한 이

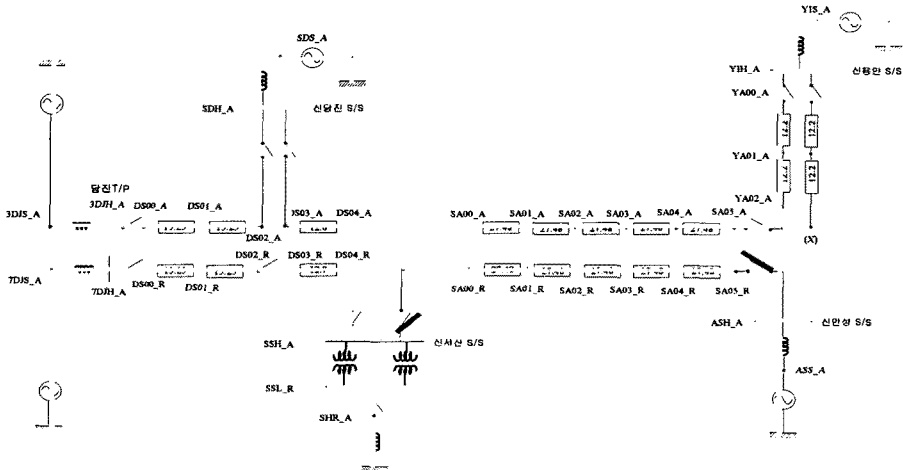


그림 1. 병행회선이 345 kV로 운전되는 경우 휴전된 선로의 유도현상 해석 노드

후에 2회선 송전계통은 765 kV 전압으로 단계적으로 전환되어 운전되도록 계획되어 있었다. 345 kV 시험운전 전압에서 765 kV 상업운전전압으로 전환하는 과정에서 2회선의 송전선로중 1회선은 345 kV 으로 다른 1회선은 765 kV의 전압으로 각기 다른 2개의 전압계급으로 운전되었다. 345 kV에서 765 kV로 전환되는 과정에서

2. 본 론

EMTP에 의한 예측계산은 그림 1에서 신안성 변전소(S/S)와 신서산 변전소(S/S) 사이의 138 km 구간의 2회선 765 kV 송전선로 구간을 대상으로 하였다. 1개 회선이 345 kV 혹은 765 kV로 운전되는 각각의 경우

에 대하여 휴전상태인 나머지 1개 회선에 가압선로에 의하여 발생하는 정전유도전압과 전자유도 전류를 EMTP 모델을 이용하여 계산하였다. 현장에서의 측정은 1개 회선이 345 kV 로 가압되어 1350A의 부하전류를 전송중인 경우에 대하여 이루어졌으며 동일조건에서의 예측계산값과 비교되어졌다.

2.1 병행회선이 345kV로 운전되는 경우 휴전된 선로의 유도현상의 계산

그림 1에서 신안성 S/S와 신서산 S/S구간의 138 km 2회선 765kV 송전선로중 한쪽 회선은 휴전된 상태이고, 나머지 모든 구간이 345kV로 운전되고 있을 경우, 휴전상태의 송전선로 양단 ES가 차단된 상태에서, 병행 운전되고 있는 345 kV 가압 송전선로로부터 유도되는 정전유도전압을 검토하였다. 또한 휴전중인 송전선로의 양단 ES 중에서 특정한 한쪽의 ES만 투입하였을 경우와, 양쪽 ES 모두를 투입하였을 경우의 각각에 대해 정전 유도 전압과 정전 유도 전류, 전자 유도 전압, 전자 유도 전류에 대해 검토하였다.

가. 345kV로 가압된 T/L로부터 유도되는 정전 유도 전압 : 양단 ES 차단(open)

휴전상태의 송전선로 양단 ES가 차단된 상태에서, 345kV로 가압되어 운전중인 병행 송전선로로부터 유도되는 전압을 검토한 결과는 아래 그림과 표와 같다. 유도되어 휴전된 선로에 나타나는 최대전압은 실효값으로 약 13.1kV 정도이며, 과거 동해안의 울정 T/L 에 대하여 검토되었던 계산값 14.9 kV와 비교하면 다소 작은 값을 보여주고 있다.

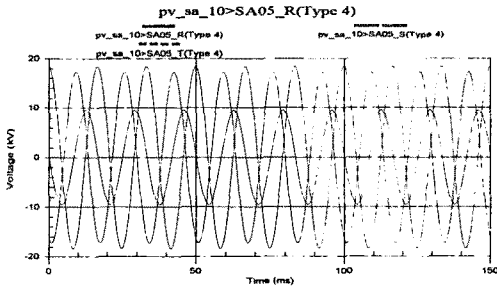


그림 2. 345kV 가압 T/L로부터 유도되는 전압파형 (양단 ES 차단상태)

표 1. 345kV 가압 병행회선에 의한 발생 유도 전압 (양단 ES 차단상태)

신안성 S/S 송전단	노드명	kV(Peak)	kV(rms)
A상 (하단)	SA05_R	15.7	11.1
B상 (중단)	SA05_S	6.6	4.6
C상 (상단)	SA05_T	18.6	13.1

표 2. 345kV 울정T/L 가압시 계산 및 실측값 비교

345kV 울정 T/L	계산값 kV(rms)	측정값 kV(rms)	비교오차 kV(rms)
A상 (하단)	14.9	12.8	2.1
B상 (중단)	5.5	2.1	3.4
C상 (상단)	10.2	9.2	1.0

나. 345kV로 가압된 T/L로부터 유도되는 정전 유도 전압과 전류 : 편단 ES 투입(신서산측 ES Closed) 휴전상태의 송전선로에, 병행되어 운전되고 있는 345kV 송전선로로부터 유도되어 들어오는 전압을 제거하기 위하여 신서산측의 ES만을 투입하였을 경우 발생하는 정전 유도전압 및 전류값을 계산하였다. 그 결과

정전유도전류 파형이 아래 그림이고, 정전유도 전압값이 아래 표로 정리되어 있다. 편단 ES 접지시의 최대 정전유도전압값은 약 8.6kV 정도이며, 접지 스위치를 통하여 흐르는 정전유도전류값은 약 12.2A이었다.

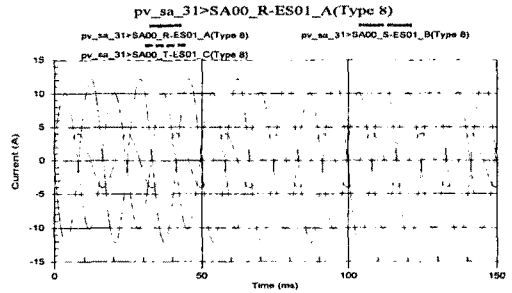


그림 3. 345 kV 선로에 의한 정전유도 전류파형 (신서산 측 ES 투입)

표 3. 345 kV 선로에 의한 정전유도 전압 (신서산 측 ES 투입)

송전선 구간	노드명	kV(Peak)	kV(rms)
신서산측 (ES 투입지점)	SA00_R	0.05	0.04
	SA00_S	0.02	0.01
	SA00_T	0.06	0.04
선로중간점	SA03_R	5.18	3.66
	SA03_S	1.80	1.27
	SA03_T	1.43	1.01
신안성측 (ES 차단지점)	SA05_R	8.62	6.09
	SA05_S	3.04	2.15
	SA05_T	2.40	1.70

다. 345kV로 가압된 T/L로부터 유도되는 전자 유도 전류와 전압 : 양단 ES 투입(신안성, 신서산측 ES Closed)

위의 경우와는 달리 선로 양단의 ES를 모두 투입하여 유도되는 정전유도전압을 모두 제거한다면, 전자유도에 의해 발생하는 전자유도전압과 전류의 계산결과가 아래 그림과 표에 정리되어 있다. 최대 전자유도전압값은 약 0.69kV 정도이며, 전자유도전류값은 약 138A이었다. 전자유도전압은 전자유도전류가 접지점을 통하여 대지로 방전되면서 접지저항의 영향으로 나타나는 전압이 된다.

표 4. 345 kV 선로에 의한 전자유도 전압

송전선 구간	노드명	kV(Peak)	kV(rms)
신서산측 (ES 투입지점)	SA00_R	0.69	0.48
	SA00_S	0.18	0.12
	SA00_T	0.39	0.28
선로중간점	SA03_R	0.02	0.02
	SA03_S	0.07	0.05
	SA03_T	0.14	0.10
신안성측 (ES 투입지점)	SA05_R	0.67	0.47
	SA05_S	0.16	0.11
	SA05_T	0.38	0.27

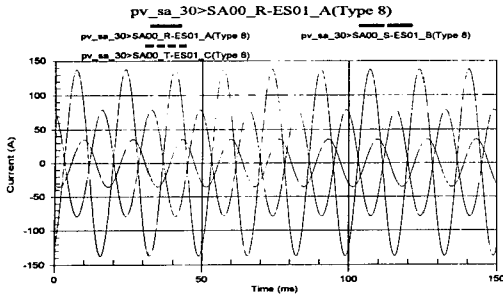


그림 4. 양단 ES 투입시 345 kV 선로에 의한 전자유도 전류파형

2.2 병행회선이 765kV로 운전되는 경우 휴전된 선로의 유도현상의 계산

신안성-신서산 구간의 765kV 선로 1회선을 가압하고 345kV로 운전중이던 한 선로를 휴전한 상태에서, 또한 양단 ES를 모두 투입하지 않은 경우 765kV T/L에서 유도되는 전압을 검토하였다. 또, 휴전되는 선로의 ES를 편단 또는 양단에서 투입하였을 경우 생기는 정전유도전압, 전자유도전압, 전자유도전류에 대해 각각 계산하였다.

가. 765kV로 가압된 T/L로부터 유도되는 정전 유도 전압 : 양단 ES 차단(open)

765kV로 가압된 T/L에서 유도되어, 휴전중인 345kV 운전선로 양단 ES가 차단되어 있는 상태에서 선로에 나타나는 유도 전압에 대해 검토하였다. 그 결과 파형이 그림 5로 최대값으로 약 32kV 정도가 걸리는 것으로 계산되었다.

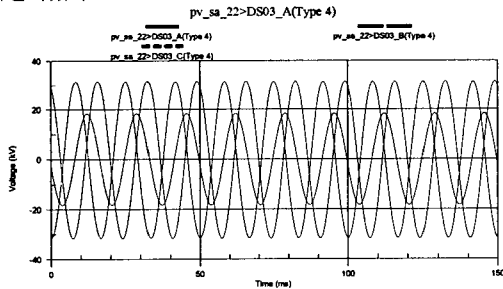


그림 5. 765kV 선로에 의한 정전유도 전압 (양단 ES 차단)

나. 765kV로 가압된 T/L로부터 유도되는 정전 유도 전압과 전류 : 편단 ES 투입(신서산측 ES Closed)

표 5. 765kV 선로에 의한 구간별 정전유도 전압 (편단 ES 투입시)

송전선 구간	노드명	kV(peak)	kV(rms)
신당진측 (ES 투입지점)	DS03_R	0.13	0.09
	DS03_S	0.06	0.04
	DS03_T	0.13	0.09
선로중간점	SA03_R	1.02	0.72
	SA03_S	3.40	2.40
	SA03_T	7.04	4.98
신용인측 (ES 차단지점)	YA00_R	0.63	0.45
	YA00_S	4.75	3.36
	YA00_T	10.22	7.23

반면, 휴전되어 있는 선로의 ES를 편단에만 투입하였을 경우 생기는 정전유도전압에 대해 검토하였다. 그 결과 최대 10.2kV 정도 정전유도전압이 발생하였다. 운전되

는 선로에의 평균전류는 실효값 890A이었으며, 휴전된 선로에 유도되어 흐르는 전류값은 각 상별로 실효값 18.7A, 8.8A, 17.8A 이었다.

다. 765kV로 가압된 T/L로부터 유도되는 전자 유도 전류와 전압 : 양단 ES 투입(신안성, 신서산측 ES Closed)

반면, 휴전되어 있는 선로의 ES를 양단에 투입하였을 경우 생기는 전자유도전압 및 전류에 대한 결과, 최대 1.57kV 및 120A가 발생하는 것으로 계산되었다.

표 6. 765kV 선로에 의한 구간별 전자유도전압 (양단 ES 투입시)

송전선 구간	노드명	kV(peak)	kV(rms)
신당진측 (ES 투입지점)	DS03_R	0.27	0.19
	DS03_S	0.10	0.07
	DS03_T	0.55	0.39
선로중간점	SA03_R	0.54	0.38
	SA03_S	1.02	0.72
	SA03_T	1.57	1.11
신용인측 (ES 차단지점)	YA00_R	0.20	0.14
	YA00_S	0.13	0.10
	YA00_T	0.54	0.38

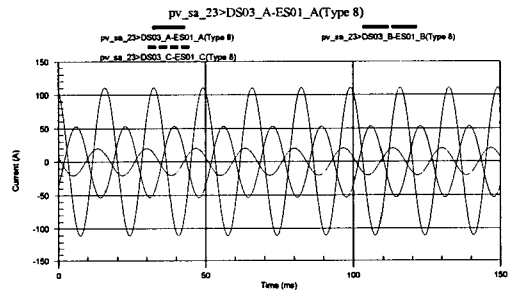


그림 6. 765kV 선로에 의한 ES에 흐르는 전자유도전류 (양단 ES 투입)

2.3 병행회선이 345kV 및 765 kV로 운전되는 경우 휴전된 선로에 유도되는 계산값과 실측값의 비교

1350A의 전류를 전송중인 345 kV 운전 회선에 의한 유도전압과 전류값을 신안성 변전소에서 측정하고 동일 조건의 예측계산 결과와 비교하여 표 8.과 표 9.에 정리하였다.

표 8. 유도전압의 계산-실측 비교 (신안성 변전소 측정)

측정상	계산값[kV]	실측값[kV]	비교오차[kV]
상단상	13.1	13.5	-0.4
중단상	4.6	3.5	1.2
하단상	11.1	10.1	1.3
평균	9.6	9.0	0.6

표 9. 유도전류의 계산-실측 비교 (신안성 변전소 측정)

측정상	계산값[A]	실측값[A]	비교오차[A]
상단상	79.1	79.6	-0.5
중단상	35.3	26.8	8.5
하단상	137.7	109.6	28.0
평균	84.0	72.0	12.0

표 10은 765 kV 선로에 의하여 발생되는 유도전압의 측정결과로 계산값의 최대값은 상단상에서 23.3 kV이며 측정값은 29.9 kV로 6.6 kV의 결과차이를 보여주고 있으나 하단상의 경우는 계산값과 측정값의 차이가 0.4 kV로 나타났다.

표 10. 765 kV 선로에 의한 유도전압의 계산-실측 비교(신안성 변전소 측정)

측정상	계산값[kV]	실측값[kV]	비교오차[kV]
상단상	23.3	29.9	-6.6
중단상	15.6	11.3	4.3
하단상	20.2	20.6	-0.4
평균	19.70	20.60	0.90

3. 결 론

본 논문에서는 한전의 765 kV 서해안 계통 선로의 시험 운용기간과 상업운전초기에 존재하는 몇몇 운전조건들하에서 345 kV 및 765 kV 가압 선로에 의한 정전유도 및 전자유도현상을 EMTP(Electro-Magnetic Transient Program) 해석모델을 수립하여 예측 계산한 결과를 다루었다. 송전선로 양단에 위치한 접지 스위치(ES)의 조작조건에 따른 송전선로상의 거리별 유도 전압과 전류값이 계산되었다. 1350A의 부하전류를 공급중인 345 kV 전압의 실 선로에서 측정된 유도 전압과 전류값들과 예측계산값의 비교 결과로부터 EMTP 해석모델을 이용한 예측계산이 신뢰할 만한 수준의 결과를 제시하고 있음을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 우정옥외, "765kV 2회선 송전선로감 765kV 및 345kV로 병행유전시 유도현상 예측", 2002 대한전기학회계학술
- [2] A. R. Hileman, "Insulation Coordination", ABB Power Systems Inc., 1991
- [3] EMTP Rule Book, ATP Salford Version, I, II, 1987
- [4] Hermann W. Dommel, "EMTP Theory book", 1986,
- [5] EPRI, "Transmission Line Reference Book 345 kV and Above", 2nd Edition, 1982
- [6] 일본전력중앙연구소, "187kV~1,100kV 교류송전선의 전기적 설계 핸드북"
- [7] 전력연구원, "765kV 계통 절연협조 연구", 최종보고서, 1995, pp 104~105