

765kV 계통의 고속도 다상 재폐로 관련 2차 아크 검토 및 억제 방안

안정식, 김재영^o, 전중용
한국전력공사 송변전처 송전전압 격상추진반

The Evaluation and Countermeasures for the 2nd Arc Reduction for the High Speed Reclosing in 765kV Transmission Line

J.S. Ahn, J.Y. Kim^o, J.Y. Jin
765kV Project Office, T&S Dept. KEPCO

(ABSTRACT)

KEPCO is now going on upgrading the highest system voltage from 345kV to 765kV since 1992.

The main reason of this 765kV project is the bulk power transmission from the power generation sites at the East and West coasts to the Kyeong-in area.

The first 765kV transmission lines will be constructed by 1998 and operated as 345kV level until 2001.

This system needs a detailed evaluation of the 2nd arc in case of 765kV transmission line outages and the countermeasures for the fast arc reduction for the successful high speed reclosing.

So, this paper deals with the simulation results of the 2nd arc characteristics using EMTP and comparison of Sh.R and HSGS for the reduction methods.

1. 서론

지속적인 경제성장과 생활수준의 향상으로 전력수요의 꾸준한 증가가 예상됨에 따라 전력공급 능력의 확충과 안정적인 전력수송 체계의 구축이 요구되고 있다. 이와 관련하여 한국전력공사에서는 동, 서해안 지역에 대단위 신규 원자력 및 화력 전원개발을 추진하고 있으며, 또한 대전력을 경인 지역에 수송하기 위해 최고 운전 전압을 345kV에서 765kV로 격상할 계획이다.

765kV 송전선로 건설 계획을 보면 1998년도 까지 서해안~경인 지역 및 동해안~경인 지역의 2개소 송전선로 330 km를 건설하여 초기에는 345kV로 운전한 후 2001~2002년에 765kV로 격상할 예정이다.

이러한 765kV 송전선로는 장래 주간선 계통으로서 계통의 중추적 역할을 담당할 것으로 예상되므로, 어떠한 경우라도 Route 단절 사고가 발생치 않도록 하여야 한다. 따라서 765kV 전력계통의 안정적 운용을 위해서는 송전선로 사고시 고속도 자동 재폐로의 책임이 필요하며, 이를 위해서는 고장점의 2차 아크 전류를 신속하게 제거하여야 한다. 2차 아크전류를 줄일 수 있는 방안으로서는 Shunt Reactor 및 고속 접지개폐기(HSGS : High Speed Ground Switch) 등 2가지 방안이 검토되었다.

본 논문에서는 고속도 다상 재폐로와 관련하여 송전선로 사고시 2차 아크 크기를 EMTP를 이용하여 모의, 검토하였으며, 억제 대책으로서 Sh.R 및 HSGS를 적용시 효과를 비교 검토하였다.

2. 765kV 송전선로 고속도 다상 재폐로를 위한 2차 아크 검토 및 대책

2.1 고속도 다상 재폐로 필요성 및 2차아크 억제방안

이미 전술한 바와 같이 765kV 송전선로는 장래 주간선 계통으로서 안정적 운용을 위해서는 고속도 자동 재폐로 실시가 필요하며, 재폐로 방식중에서 Route 단절사고의 발생 확률을 가장 낮출 수 있는 다상 재폐로방식 채용이 바람직하다.

이 방식은 2회선 송전선로에 걸친 사고라도 2상 (또는 3상)이 견전하면 자동 재폐로 실시가 가능한 방식으로서, 우리와 송전 선로 구조가 비슷한 일본 동경전력의 1,000kV 경우에도 적용될 것으로 보인다.

한편, 765kV 송전선로에 다상 재폐로 방식을 적용하기 위해서는 송전선로 사고시 차단기 동작후 분리된 고장상의 2차 아크전류(전전상으로부터 정전 및 전자유도 결합에 의해 발생되는 아크 전류)를 신속하게 제거하여야 한다. 즉, 2차아크 전류가 소호되기 이전 재폐로가 실시된다면 재폐로가 실패하게 되어 영구사고로 이행된다.

따라서 2차아크 소멸시간이 재폐로 시간 결정의 주요한 요소로서 2차아크를 신속하게 줄일 수 있는 방안이 필요하며, 이러한 방안은 표 1과 같다.

표 1. 송전선로 사고시 2차 아크전류 감소 방안

방안	특징
영상보상부 Sh.R	<ul style="list-style-type: none">◦ 상간, 회선간 정전용량을 보상하여 2차 아크 억제◦ 종류 : 평형, 불평형 Sh.R
고속 접지개폐기 (High Speed Ground Switch)	<ul style="list-style-type: none">◦ 고장상 차단후 양단을 접지하여 2차 아크 억제 및 차단기 재폐로 실시

2.2 Sh.R에 의한 2차아크 억제 검토

송전선로 고장이 발생하면 고장상이 차단기에 의해 분리된 후 전전상으로부터 정전 및 전자유도에 의해 2차 고장전류(아크 전류)가 지속된다. 따라서 정전 및 전자유도 결합을 억제할 경우 고장전류를 최소화 할 수 있다. 그러나 전자유도 결합은 선로 조류에 큰 영향을 받고, 조류 크기에 따라 가변적이어서 이를 보상

하기는 어렵고, 또한 전자유도 결합에 의한 2차 아크 전류의 영향도 크지 않다. 따라서 2차 아크 전류를 줄이기 위해서는 2차 아크 전류에 큰 영향을 미치는 정전용량에 의한 결합을 Sh.R로 보상 가능하고, 2차 아크 소멸후 고장점에 나타나는 회복전압 상승율도 억제할 수 있다.

이러한 Sh.R는 정전용량을 보상하는 방법에 따라 각 상별 평형 및 불평형 Sh.R로 구분이 된다.

Sh.R을 송전선로에 적용할 경우 재폐로 실시 가능 여부 판단기준으로서는 일본 UHV 송전 특별위원회에서 제시하고 있는 재폐로 무전압 시간의 예측 평가 방법과 미국 PTI사 측에서 제시하고 있는 2차 아크전류 크기 및 회복전압 상승율에 의해 평가하는 방법이 알려져 있는 바, 본 검토에서도 이 두가지 방법을 모두 적용하였다. 765kV 송전선로 구간중 가장 장거리인 신태백S/S~신가평S/S (160km)를 대상으로 선로사고 종류별, 위치별로 EMTP를 이용하여 모의하였으며, 그 결과를 요약하면 표2와 같다.

표2. Sh.R 미 설치시 및 설치시 2차 아크 억제 효과 검토

구 분		검 토 결 과
미 설치시		<ul style="list-style-type: none"> ○ 연가 및 비연가시 2차 아크전류, 회복전압 상승율이 제한치($I_f \leq 30A$, TRV상승률 $\leq 6kV/ms$) 초과함. ○ 재폐로 무전압시간 예측결과 2.5~4.8초로 1초를 초과함.
설치 시	평형 Sh.R	<ul style="list-style-type: none"> ○ 비연가시 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 2차 아크전류, 회복전압 상승율이 제한치를 초과함. - 재폐로 무전압 시간 예측결과 4초 정도로서 1초를 초과함. ○ 연가시 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 2차 아크전류, 회복전압 상승율이 제한치 이내로 유지됨. - 재폐로 무전압 시간 예측결과 0.5초로서 1초 이내임.
	불평형 Sh.R	<ul style="list-style-type: none"> ○ 비연가시 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 2차 아크전류, 회복전압 상승율이 제한치를 초과함. - 재폐로 무전압 시간 예측결과 4초 이상으로서 1초를 초과함.

앞의 표에 의하면 Sh.R 미설치 경우와 비연가시 평형 Sh.R 및 불평형 Sh.R 을 적용할 경우는 2차아크 억제에 한계가 있고, 재폐로 무전압 시간 확보가 곤란한 것으로 나타났다. 그러나 연가시 평형 Sh.R 경우는 제한치 이내로 유지가 되어 재폐로 무전압 시간 확보는 가능한 것으로 나타났으나 연가 철탑의 제작, 시공 및 유지 보수의 어려움과 계통구성 변경시 대용성 부족이 예상되며, 다음장에서 검토된 HSGS와도 비교 검토가 요구된다.

2.3 HSGS에 의한 2차아크 억제 검토

765kV 송전선로 사고시 Sh.R는 2차 아크전류 감소에 한계가 있어 이에 대한 대책으로서 HSGS에 대한 관심이 높아지고 있다.

HSGS는 송전선로 사고상을 차단한 후 개방된 사고상의 양단을 고속으로 접지하여서 2차 아크전류를 소호시키고, 그 후에 신속하게 접지장치를 개방하고 차단된 상을 재폐로 시키는 것으로서 이 방식의 장점으로서는 어떠한 사고양상에 대해서도 2차 아크를 단시간에 소호시키고, 풍속 등 외부의 영향을 받지 않아 1초 이내의 재폐가 실시가 가능하다는 점이다.

그림1은 지락사고시 HSGS의 동작원리이다. 양단의 HSGS 개방 시 동작시간에 차가 있어 선행차단 HSGS는 전자유도분 전류를 차단하게 되고, 후행차단시는 정전유도분 전류를 차단하는데 전자의 경우가 크게 나타난다. 또한, 고장전류 차단후 HSGS 극간에 나타나는 과도회복전압 크기는 정전유도 전류 차단시 크게 나타난다.

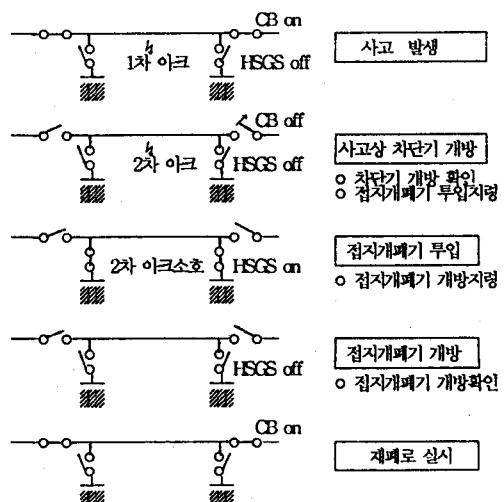


그림1. 송전선로 사고시 HSGS에 의한 재폐로 시행

765kV 송전선로에 HSGS를 적용할때의 효과를 검토하기 위해 Sh.R의 Case study와 같이 신태백S/S~신가평S/S 구간을 대상으로 모의하였다. 송전선로 고장시 고장점의 2차 아크전류 및 회복전압 상승을 크기를 구한 결과 거의 0인 상태로써 제한치 이내로 유지가 되어 2차아크 소호특성이 우수한 것으로 나타났으며, 그림2는 HSGS 적용시 전형적인 2차 아크전류 및 회복전압 파형을 보여주고 있다.

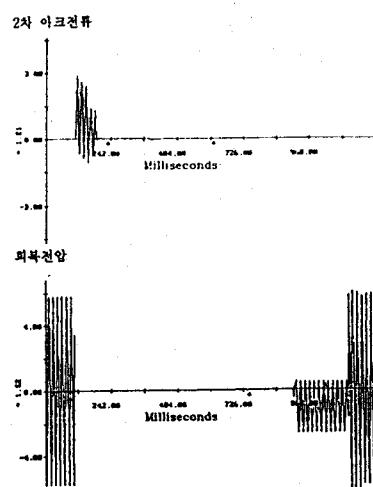


그림2. HSGS 적용시 고장점의 2차 아크전류 및 회복전압 파형 (중앙 1선 지락 고장)

그리고 저락사고별로 HSGS의 차단전류, 회복전압 및 상승율을 모의하여 검토한 결과 최소한 유지하여야 할 HSGS의 전기적 특성을 나타내면 표3과 같다.

표3. HSGS의 차단전류, 회복전압 및 상승율

전자유도전류 차단시			정전유도전류 차단시 회복전압 (kV_{ms})	비고
차단전류 (A)	회복전압 상승율 ($kV/\mu s$)	회복전압 (kV_p)		
1300	0.186	180.00	158.1	사고 양상별 최대치 기준임

[참고문헌]

1. "765kV 보호계전 방식에 관한 연구(최종보고서)", 한전, 1994
2. 김재영외 3, "한전의 765kV 계통기술검토의 기본방향", 전력 계통 춘계 학술발표, 1994
3. "UHV 송전 특별 위원회 중간보고서", CRIEPI, '82.3
4. "The application of HSGS for single-pole reclosing on 500kV power system", IEEE, Vol PAS-100, No.4,April 1981
5. "Single-phase auto-reclosing in EHV system", CIGRE 21~29, Aug 1974

2.4 Sh.R 방식과 HSGS 방식의 비교 검토

765kV 송전선로 2차아크 억제방안으로서 Sh.R 및 HSGS의 적용 효과를 검토한 결과 송전선로 연가시 평형 Sh.R 방식과 비연가시 HSGS에 의한 방식이 2차아크 소호특성이 양호한 것으로 나타났다. 따라서 상기 두가지 방식의 장단점을 비교 검토한 결과 표4와 같이 HSGS가 경제성 및 계통변경에 따른 대응성이 양호하고, 또한 2차아크 소호시 풍속등 외적인 영향을 거의 받지 않아 보다 적정할 것으로 판단된다.

표4. 2차 아크 억제 방안으로서 연가시 평형 Sh.R 및 HSGS의 비교검토

항 목	연가 및 평형 Sh.R 적용	HSGS 적용
2차 아크 소호특성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1초 이내 재폐로 무전압시간 확보가능 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1초 이내 재폐로 무전압 시간 확보 가능
계통변경에 따른 대응성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연가 제시공 및 평형 Sh.R 교체공사 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기설 HSGS의 변경 불필요로 대응성 우수함
경제성	<ul style="list-style-type: none"> ○ HSGS 적용시에 비하여 약 5배 설치비 소요 	
문제점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연가시 철립높이 증가, 소요부지 과다로 제작, 시공의 어려움, 사용 부지 확보 곤란 및 유지보수 어려움 예상 ○ 인근주민 혐오시설 인식 우려 높음 ○ 계통구성 변경에 따른 대응성 부족 ○ 경제적인 측면에서 HSGS 적용시보다 불리 	<ul style="list-style-type: none"> ○ HSGS의 오동작을 방지할 수 있는 고신뢰도 SYSTEM 구축 필요

3. 결론

본 논문에서는 향후 건설될 765kV 송전선로의 안정적 운용을 위한 필수 요건으로서 고속도 다상 재폐로를 적용시 2차아크를 억제할 수 있는 방안들에 대해 비교 검토를 하였다. 이러한 검토 결과는 2차아크 소호특성이 보다 우수한 HSGS의 규격제정과 765kV 송전선로 보호 System 검토의 기초적인 자료로서 활용이 예상된다. 그러나 향후에는 HSGS의 동작 신뢰도 확보문제가 중요한 해결 과제이며, 현재 일본 동경전력에서도 1,000kV 송전선로에 이를 적용할 계획으로 실증시험중에 있으므로 2000년대에는 동작 신뢰도가 대폭 향상될 것으로 예상된다.