

### 345 kV급 GIS 차단기의 고유과도회복전압 특성 검토

우정욱, 심응보, 강지원, 강연욱  
한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실

#### TRV Characteristics of 345 kV GIS Circuit Breaker

Woo Jung-Wook, Shim Eung-Bo, Kang Ji-Won, Kang Youn-Wook  
KEPCO KEPRI

**Abstract** - The circuit breakers had been withdrawn from 345 kV SIC substation, because these were made following the old IEC requirement(IEC 56: TRV rating) and insufficient current rating(2,000 A) for the system requirement(4,000 A). And, they are going to be reused at 345 kV UR substation and SJS switching section.

This paper deals with the TRV(temporary recovery voltage) analysis results in order to reuse them. The analysis results are satisfied with the IEC requirements of RRRV(Rate of Rise of Recovery Voltage) and peak voltage( $U_c$ ) from 2000 to 2010.

#### 1. 서 론

이 논문은 345 kV급 SIC 변전소에 사용되었던 GIS 차단기를 UR 변전소와 SJS 개폐소에 재사용 가능한지 여부를 검토하기 위하여 TRV(고유과도회복전압) 특성을 EMTP로 simulation한 결과이다.

UR 변전소의 경우 2000년과 2010년의 계통을 대상으로 검토하였으며, SJS 개폐소의 경우도 2004년과 2010년의 계통을 대상으로 검토하였다.

검토 결과, 제반 특성이 IEC의 신·구 규격 모두를 만족하는 결과가 나와서 재사용하는데는 문제가 없을 것으로 사료된다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 고유과도회복전압(TRV) 규격 관련사항

###### 2.1.1 규격 적용방안 검토

현재 통용되는 차단기 관련규격은 IEC-56, ANSI C37.06으로 대별되며, IEC는 실측치에 근거를 두고 있고 ANSI는 모델계통에 대한 해석치에 근거를 두고 있다. IEC 및 ANSI 규격의 근본적인 차이점은 다음과 같다.

- **파형표시방법** : ANSI에서 72.5 kV 이하의 계통에 대해서는 단일전원으로부터 고장전류가 공급되는 단순계통으로(1-cosine 파형), 121 kV 이상의 계통에 대해서는 변압기 및 송전선로에 의해 고장전류가 공급되는 복합계통(exponential-cosine 파형)으로 가정함으로써 이때의 과도회복전압 파형을 이론적으로 정의하고 있다. 그러나 IEC에서는 실제 계통에서 간단한 수식으로 표현할 수 있는 파형을 얻는 일이 어렵다는 사실을 인지하여 2-parameter 또는 4-parameter 방법에 의해 과도회복전압 파형을 정의하고 있다.

- **상승률** : IEC에서는 100 kV 이상의 차단기에 대해 과도회복전압 상승률(Rate of Rise of Recovery Voltage, RRRV)을 일정한 값으로 규정하고 있지만 ANSI에서는 정격전압 및 정격차단전류에 따라 서로 상

이한 값으로 규정하고 있다.

- **파고시간** : IEC 규격에서는 각 정격전압별로 접지/비접지계통에 대한 1개의 파고시간을 정의하는 반면 ANSI 규격에서는 동일 정격전압에 대해서도 정격 차단 전류가 다른 경우 서로 상이한 파고시간으로 규정하고 있다.

- **파고전압** : 대체적으로 동일 정격전압에 대해서 ANSI의 파고치가 IEC 규격보다 약간 높다. 그 이유는 양 규격간의 기본 가정이 약간 상이하고 ANSI가 해석치를 근거로 하는데 반해 IEC는 실측치를 염두에 두기 때문이다.

현재의 한진 차단기 관련규격인 ESB-150 규격은 IEC를 모델로 제정되어 있고 현재 운용중인 362 kV 이하의 차단기도 IEC 규격을 따른 것이다.

###### 2.1.2 IEC의 과도회복전압 규격치

IEC 규격의 단락시험시 고유 과도회복전압 규격치는 다음의 조건에 따라 규정하고 있다.

▶ 고장전류 : 3상 접지고장

▶ 고유과도회복전압 파고치 :

$$(\text{차단기 정격전압}) \times (\sqrt{2}/\sqrt{3}) \times (\text{제1상차단계수}) \times (\text{진폭률})$$

IEC 규격에 명시되어 있는 모든 정격전압별 과도회복전압 규정치는 참고문헌(IEC-56)을 참조하기 바람이며 여기서는 검토대상과 관련이 있는 정격전압 362 kV급 차단기의 과도회복전압 규격치중에서 과도회복전압 상승률과 파고치에 대해서 나타내면 <표 1>과 같다.

표 1. 362 kV 차단기 과도회복전압 규격치

Duty No.	RRRV kV/ $\mu$ s	t1 $\mu$ s	u1 kV	t2 $\mu$ s	t3 $\mu$ s	uc kV	t' $\mu$ s	u' kV	td $\mu$ s	
4&5 100%	구	1.0	445	445	1.34		620	230	222	8.9
	신	2.0	192	384	576		538	98	192	2
3 60%	구	2.0	222	445	1.34		670	120 (166)	222	8.9 (55)
	신	3.0	128	384	576		576	66 (96)	192	2 (32)
2 30%	구	5.0				134	670	71	222	26.5
	신	5.0	77	384	578		576	5 (19)	192	43 (58)
1 10%	구	Duty 2 적용								
	신	8.3				82	678	37	226	10

\*1) Duty 4&5는 100 % 정격차단전류로써 동일하나 직류분 존재(Duty 5), 대칭전류차단(Duty4)으로 구분된다.

\*2) t1(초기파고시간), u1(초기파고치), t2(파고시간), uc(파고치)

\*3) Duty1만 2-parameter 파형, 나머지는 4-parameter 적용

## 2.2 UR 변전소 과도회복전압

### 2.2.1 해석대상계통 및 해석조건

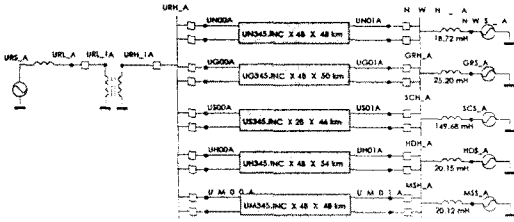


그림 1. UR 변전소 TRV 검토 계통도

그림 1과 같이 구성된 계통도에서 2000년과 2010년 때의 UR 변전소를 중심으로 TRV를 검토하였다. 이때, 전원단으로 등가 모의한 변전소측의 임피던스 값과 전원(위상)은 2000년과 2010년때의 각각에 대하여 따로 등가화 하였다.

TRV 검토시에 IEC 규정상 3상 지락고장을 대상으로 검토하도록 되어 있으나, 검토대상이 GIS인 경우에는 현실적으로 3상 지락고장이 날 확률이 없어서, 1상 지락고장만을 검토 대상으로 하였다. 기본 해석대상계통 및 운전상태에 대한 각 모션별 고장위치와 차단기 동작은 아래와 같다.

- 모션고장 : 모션고장시 모선에 연결된 각 차단기는 고장전류 위상에 따라서 순차적으로 차단하며 각 차단기별 과도회복전압 상승률, 파고치 및 차단전류를 해석결과에 표시하였다.

- 차단기 선로측 고장 : 변전소의 차단기 선로측에서 고장발생시에는 모션측 고장과 비교하여 차단전류가 훨씬 크며 해당 고장선로의 양단 차단기만 동작하게 된다.

- 변압기 1차측 고장 : 변압기의 1차측(345 kV 측)에서 고장이 발생한 경우는 위의 차단기 선로측 고장과 거의 동일한 개념이며 345 kV 측 차단기가 관심 대상이다.

- 변압기 2차측 고장 : 변압기의 2차측(저압측)에서 고장이 발생한 경우 변압기 자체의 공진주파수 때문에 높은 과도회복전압 상승률을 나타내는 것이 일반적이다. 이 경우도 345 kV 측 차단기가 관심대상이다.

전원단의 위상각 및 등가임피던스는 PSS/E의 계산에 의해 구하였다. UR 변전소 변압기는 2000년의 경우는 1 bank, 2010년의 경우는 3 bank를 적용하였다. 선로모델은 UR에서 SNW, GR, SC, HD T/P, SMS 사이에 JMARTI 모델을 적용하였다. 모션 커패시턴스는  $C_B = 159 \times 1 \times V^{0.48} \times 10^{-6}$ 에 의해 계산되었다.

### 2.2.2 해석 결과

위에서 기술한 해석 케이스에 대한 고장 위치별 해당 차단기의 과도회복전압 파형을 분석하여 과도회복전압 초기상승률(kV/μsec), 과도회복전압 파고치(kV) 및 고장전류(kA)를 그림에 나타내었다. 해석 결과의 설명에서 나타낸 기호는 다음과 같은 의미를 지니고 있다.

- □ : 그림에 나타낸 고장위치에서 고장발생시 후비보호용으로는 동작하지만 순시차단은 하지 않는 차단기
- ■ : 고장발생시 순시차단을 하며, 과도회복전압이 발생하는 차단기
- $T_0$  [μsec] : 과도회복전압 발생시작점 시간
- $T_1$  [μsec] : 최대 과도회복전압시의 시간
- $V_c$  [kV] : 파고치
- RRRV [kV/μsec] : 과도회복전압 초기상승률
- Duty No : 계산결과에 따라 적용되는 Duty Number

### (1) 변압기 주변 지락사고시

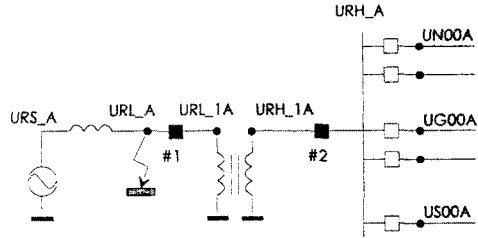


그림 2. 변압기 저압측 URL\_A에서 지락시

그림 2와 같이 UR 변전소의 변압기 저압측 URL\_A 과 URL1\_A, URH1\_A 각각에서 지락사고가 있었을 경우 인근(주관심) 차단기 극간에서의 TRV 특성을 검토하였다.

표 2. 변압기 주변에서 지락시

지락 위치	해석 년도	$T_0$ [μs]	$T_1$ [μs]	$V_c$ [kV]	RRRV [kV/μs]	측정차단기 위치
URL_A	2000	132	1023	387	0.43	# 2
	2010	110	968	432	0.50	# 2
URL1_A	2000	132	1056	387	0.41	# 2
	2010	110	391	434	0.55	# 2
URH_1A	2000	143	1056	498	0.54	# 2
	2010	176	990	494	0.60	# 2

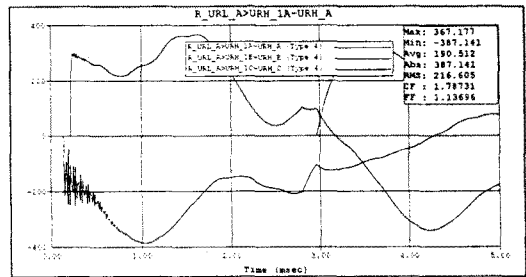


그림 3. TRV 파형 (URL\_A에서 지락시)

변압기 인근에서 지락사고가 난 위의 세가지 경우에는 Duty #1이 적용되어 상승률과 파고치가 규제치인 5.0 kV/μs와 670(구)/576(신) kV 이하의 값으로 만족하고 있음을 알 수 있으며, 그림 3은 URL\_A에서의 지락시 결과 파형이다.

### (2) 모션단에서 지락사고시

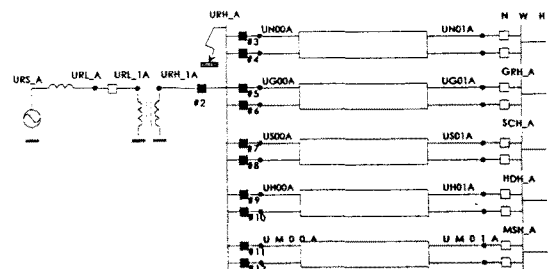


그림 4. 모션단에서 지락시

UR 변전소의 모선단(U RH\_A)에서 지락시, 인근 차 단기 극간에서의 TRV 특성을 검토하였다.

표 3. 변압기 주변에서 지락시

지락 위치	해석 년도	T <sub>0</sub> [μs]	T <sub>1</sub> [μs]	V <sub>c</sub> [kV]	RRRV [kV/μs]	측정차단기 위치
URH_A	2000	99	946	522	0.61	# 12
	2010	165	781	476	0.77	# 3

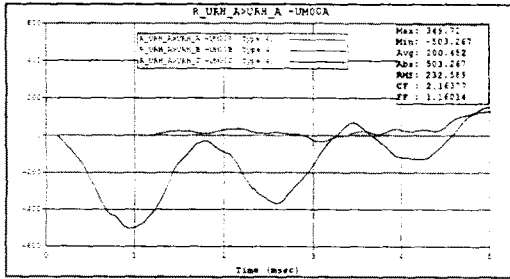


그림 5. TRV 파형 (URH\_A에서 지락시)

모선단에서 지락사고가 난 경우에는 고장전류의 조건에 따라 Duty #2가 적용되어, 상승률과 피크치가 규격치인 5.0 kV/μs와 670(구)/576(신) kV 이하의 값으로 만족하고 있음을 알 수 있으며, 그림 5는 URH\_A에서의 지락시 TRV 결과 파형이다.

(3) 차단기와 선로사이에서 지락사고시

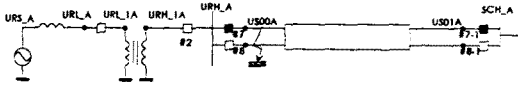


그림 6. 차단기와 선로사이에서 지락시

그림 6과 같이 UR 변전소와 상대 변전소나 발전소에 연결되어 있는 송전선로에서 지락사고가 있었을 경우 인근(주관심) 차단기 극간에서의 TRV 특성을 검토하였다. 특히 그림과 결과표는 연결된 다섯 선로중에서 가장 가혹한 경우이다.

표 4. 선로에서 지락시

지락 위치	해석 년도	T <sub>0</sub> [μs]	T <sub>1</sub> [μs]	V <sub>c</sub> [kV]	RRRV [kV/μs]	측정차단기 위치
US00_A	2000	154	913	404	0.53	# 7
	2010	176	825	418	0.64	# 7

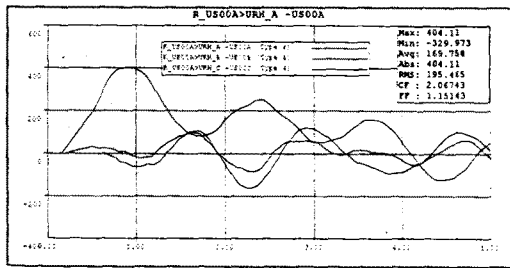


그림 7. TRV 파형 (선로측 US00A에서 지락시)

연결된 송전선로 다섯 곳에서 지락시에도 역시 duty #2가 적용되어 상승률과 피크치가 규격치 이하의 값으로 만족하고 있음을 알 수 있다.

2.3 SJS 개폐소 과도회복전압

2.3.1 해석대상계통 및 해석조건

그림 8과 같이 구성된 계통도에서 2004년과 2010년 때의 SJS 개폐소를 중심으로 TRV를 검토하였다. SJS 개폐소에는 YY, DH, JC 세곳이 연결되어 있다.

· 모선고장 : 모선고장시 모선에 연결된 각 차단기는 지락후 9 msec후에 고장전류 위상에 따라서 순차적으로 차단하며 각 차단기별 과도회복전압 상승률, 파고치 및 차단전류를 해석결과에 표시하였다.

· 차단기 선로측 고장 : 변전소의 차단기 선로측에서 고장발생시에는 모선측 고장과 비교하여 차단전류가 훨씬 크며 해당 고장선로의 양단 차단기만 동작하게 된다.

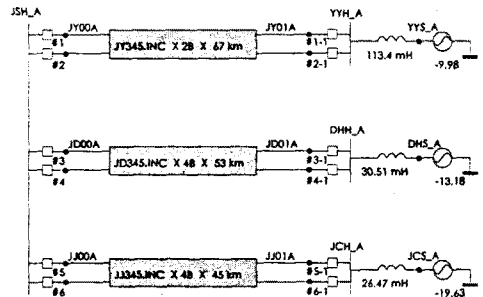


그림 8. SJS 개폐소 TRV 검토 계통도

2.3.2 해석 결과

(1) 모선단에서 지락사고시

그림 8에서의 SJS 개폐소의 모선단인 JSH\_A에서 지락사고가 있었을 경우 인근 차단기 극간에서의 TRV 특성을 검토하였다.

표 5. 변압기 주변에서 지락시

지락 위치	해석 년도	T <sub>0</sub> [μs]	T <sub>1</sub> [μs]	V <sub>c</sub> [kV]	RRRV [kV/μs]	측정차단기 위치
JSH_A	2004	9174	10032	506	0.58	# 6
	2010	9152	9988	509	0.60	# 6

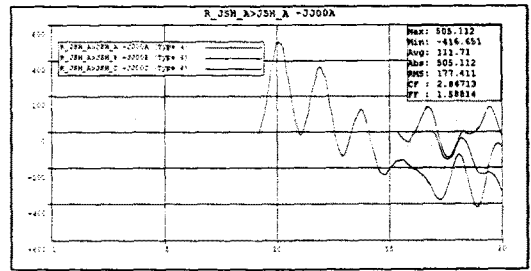


그림 9. TRV 파형 (JSH\_A에서 지락시)

모선단에서 지락사고가 난 경우 고장전류의 조건에 따라 Duty #1, 2가 적용되어, 상승률과 피크치가 규격치 이하의 값으로 만족하고 있음을 알 수 있다.

(2) 차단기와 선로사이에서 지락사고시



그림 10. 차단기와 선로사이에서 지락시

그림 10과 같이 SJS 개폐소와 상대 변전소에 연결되어 있는 송전선로에서 지락사고가 있었을 경우 인근 차단기 극간에서의 TRV 특성이며, 역시 이 경우도 연결된 새개 선로중에서 가장 가혹한 경우를 표시하였다.

표 6. 선로에서 지락시

지락 위치	해석 연도	T <sub>0</sub> [ $\mu$ s]	T <sub>1</sub> [ $\mu$ s]	V <sub>c</sub> [kV]	RRRV [kV/ $\mu$ s]	축정차단기 위치
YJ00_A	2004	660	1529	381	0.43	# 1
	2010	649	1507	385	0.44	# 1

3. 결 론

345 kV급 SIC 변전소에 사용되었던 GIS 차단기를 UR 변전소와 SJS 개폐소에 재사용 가능한지 여부를 검토하기 위하여 2000년~2010년 계통을 대상으로 TRV(고유과도회복전압) 특성을 EMTP로 각각 해석하였다.

◎ UR 변전소 (IEC 규격 duty #2에 해당)

검토항목	계산 결과	IEC 규격		비 고
		구	신	
상승률 (RRRV) [kV/ $\mu$ s]	0.77	5.0	5.0	만 족
최대값 (U <sub>c</sub> ) [kV]	522	670	576	만 족

◎ SJS 개폐소 (IEC 규격 duty #2에 해당)

검토항목	계산 결과	IEC 규격		비 고
		구	신	
상승률 (RRRV) [kV/ $\mu$ s]	0.59	5.0	5.0	만 족
최대값 (U <sub>c</sub> ) [kV]	525	670	576	만 족

검토 결과, TRV 규격상 재사용에는 문제점이 없을 것으로 검토하였다.

(참 고 문 헌)

- (1) 김정부의 8인, "송전계통의 고유과도회복전압에 관한 연구 (최종보고서)", 한전 기술연구원, 최종보고서, 1990
- (2) 김정부의 7인, "765 kV 제릉절연 협조연구(최종보고서)", 한전 전력연구원, 최종보고서, 1995
- (3) IEC-56 (1987), High-Voltage Alternating Current Circuit Breaker